Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science
Région de la capitale nationale
Secrétariat canadien de consultation scientifique
Réponse des Sciences 2013/011

ÉVALUATION FONDÉE SUR LES RISQUES DES IMPACTS ET DES MENACES QUE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES PRÉSENTENT POUR L'INFRASTRUCTURE ET LES SYSTÈMES BIOLOGIQUES QUI RELÈVENT DU MANDAT DE PÊCHES ET OCÉANS CANADA – GRAND BASSIN AQUATIQUE D'EAU DOUCE

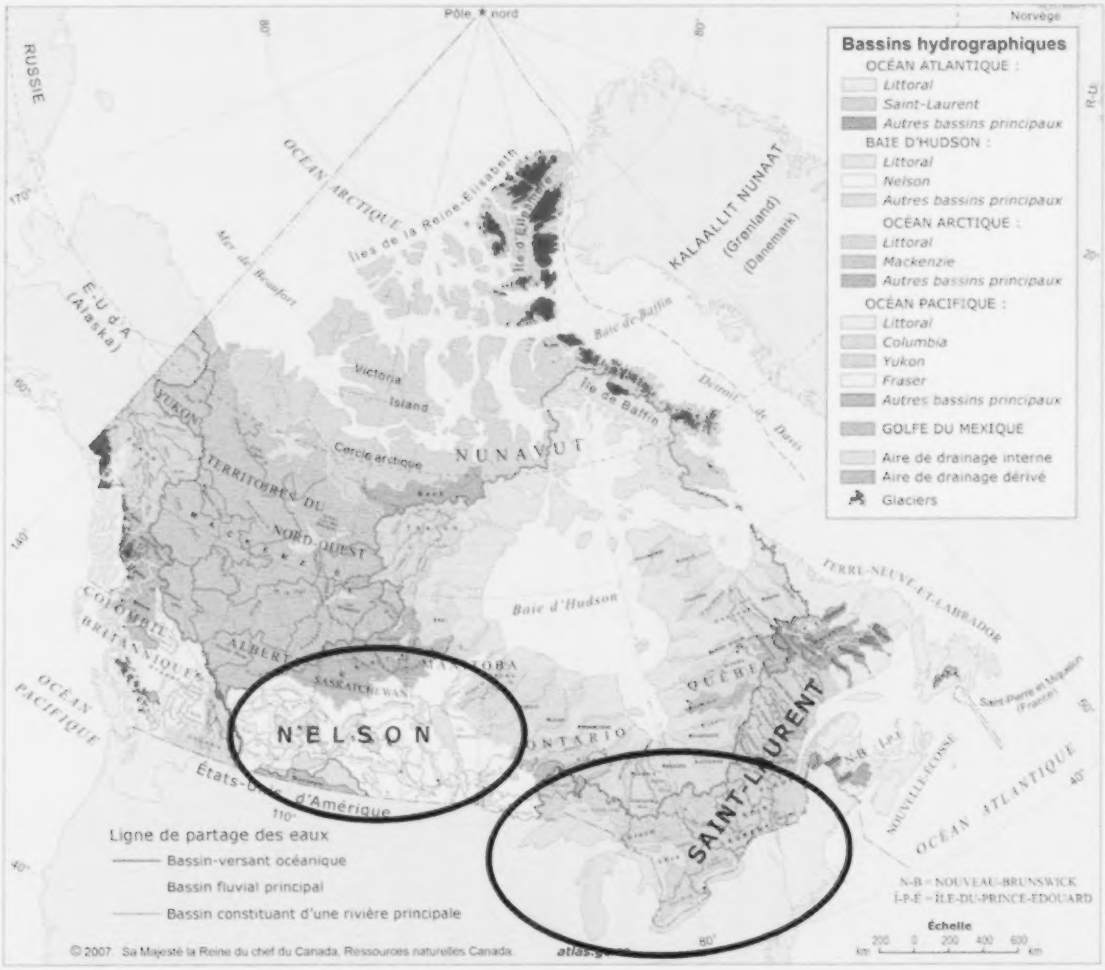


Figure 1. Carte du grand bassin aquatique (GBA) d'eau douce comprenant le secteur des Prairies (fleuve Nelson – bassin hydrographique du lac Winnipeg) et le bassin des Grands Lacs.

Juillet 2013

Canada

Contexte

Conformément au *Cadre stratégique fédéral sur l'adaptation*, Pêches et Océans Canada (le MPO) a reçu un financement pour le Programme des services d'adaptation aux changements climatiques en milieu aquatique (PSACCMA; 2011-2016) afin de mettre en œuvre un programme scientifique sur les changements climatiques axé sur l'adaptation et les secteurs de responsabilité mandatés de Pêches et Océans Canada. Le programme comprendra des évaluations des risques, favorisera l'élaboration d'outils et de projets de recherche scientifiques pour améliorer la compréhension des répercussions des changements climatiques, et permettra de s'adapter en vue d'appuyer les résultats stratégiques du Ministère.

Pour répondre au principal objectif du programme, une évaluation des risques posés par les changements climatiques pour l'exécution du mandat du MPO dans les différents écosystèmes aquatiques du Canada a été réalisée. Pour que les évaluations soient plus ciblées, le pays a été divisé en quatre grands bassins aquatiques (GBA) – Arctique, Pacifique, Eau douce et Atlantique – en fonction de caractéristiques écosystémiques générales. L'évaluation des risques régionaux aidera les gestionnaires de première ligne à réagir aux changements climatiques.

Pour atteindre cet objectif, on a commencé par tenir un processus spécial de réponse des Sciences (PSRS) national, qui consistait en une réunion en personne dans chacun des grands bassins aquatiques, afin d'évaluer les risques pour l'infrastructure et les systèmes biologiques qui relèvent du MPO. Ce travail fait suite à deux rapports nationaux internes du MPO sur l'évaluation des risques posés par les changements climatiques (Interis 2005, 2012), qui présentaient une évaluation préliminaire des impacts des changements climatiques sur les priorités stratégiques du Ministère et réduisaient les trois évaluations nationales des risques à l'échelle de chaque grand bassin aquatique. Il a servi de point de départ aux évaluations des quatre grands bassins aquatiques. En raison de la brièveté des délais impartis pour cet avis scientifique, c'est un PSRS qui a été effectué, et non un examen détaillé par les pairs du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS). Les PSRS permettent de répondre à des demandes urgentes ou imprévues quand les délais ne sont pas assez pour préparer un examen complet du SCCS.

Cette urgence était liée à la nécessité de déterminer et d'appliquer des liens entre les documents d'information scientifiques, socio-économiques et politiques dans le cadre des réunions intégrées d'évaluation des risques, prévues au début de l'hiver 2012-2013. Après ces réunions du Secrétariat canadien de consultation scientifique, les résultats des PSRS et ceux d'autres analyses socio-économiques et politiques (élaborées en lien avec les conclusions des réunions du PSRS) seront regroupés pour servir de source d'information à l'atelier intégré d'évaluation des risques pour chaque grand bassin aquatique. L'objectif de ces ateliers intégrés sera d'utiliser la base probante fournie par les analyses scientifiques, socio-économiques et politiques et d'intégrer les considérations de domaines de programme du MPO (p. ex., gestion des pêches, gestion des océans, etc.) pour déterminer les risques climatiques à l'échelle du bassin les plus importants pour le Ministère. Les résultats aideront les décideurs du MPO à adapter les décisions de façon à refléter les considérations relatives aux changements climatiques, afin que les Canadiens puissent continuer à tirer des avantages de nos océans et de nos eaux intérieures. Ces renseignements joueront également un rôle majeur dans la détermination des priorités relatives aux enveloppes budgétaires concurrentielles du PSACCMA, qui visent à comprendre les impacts des changements climatiques et à élaborer des outils d'adaptation pour l'année de financement 2013-2014 et les suivantes.

La présente réponse des Sciences découle de la réunion de spécialistes du grand bassin aquatique d'eau douce qui a établi l'examen par des pairs de feuilles de résumé des risques concernant les six risques pour le Ministère définis dans les rapports nationaux d'évaluation des risques. Les participants ont d'abord examiné des documents d'information qui présentaient, pour chaque GBA, l'information scientifique actuelle sur les tendances et les prévisions, ainsi que les impacts, les vulnérabilités et les opportunités. L'évaluation des risques des bassins a d'abord tenu compte des descriptions des « tendances et prévisions » (TP) à court terme (10 ans) et à long terme (de 50 à 100 ans). Ensuite, les évaluations ont considéré les évaluations des « impacts, vulnérabilités et opportunités » (IVO) pour chaque échelle temporelle. Les rapports détaillés sur les tendances et prévisions ainsi que sur les impacts, vulnérabilités et opportunités, qui sont des évaluations approfondies et détaillées des changements climatiques et des impacts relatifs aux sous-bassins de GBA, seront publiés en début de l'exercice 2013-2014 (à publier [1,2]). Les documents de TP et d'IVO seront examinés séparément quand ils seront terminés.

La présente réponse des Sciences (RRS) détaille les résultats du PSRS national qui a évalué les risques posés par les changements climatiques pour le grand bassin aquatique d'eau douce. La réunion s'est déroulée du 20 au 22 novembre 2012 à Winnipeg (Manitoba). Les réponses des Sciences élaborées par les réunions sur chaque grand bassin aquatique seront publiées dès qu'elles seront disponibles sur le Calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada.

Renseignements de base

Pêches et Océans Canada

Les changements climatiques influeront sur la capacité du Ministère à respecter les obligations et engagements relevant de son mandat. Les changements climatiques sont difficilement prévisibles. Il est encore plus difficile de prévoir l'ampleur, le lieu, le moment et les processus des impacts des changements climatiques sur les écosystèmes et les infrastructures. De plus, la complexité et la diversité des responsabilités et du mandat du MPO ne facilitent guère la prévision des impacts des changements climatiques sur les secteurs et les régions ministérielles.

Pour organiser l'évaluation des risques des changements climatiques, l'évaluation s'est concentrée sur les six principaux risques qu'avait cernés l'évaluation nationale des risques comme étant les principaux risques associés aux changements climatiques qui pourraient limiter la capacité du Ministère à exécuter son mandat (Interis 2005, 2012), à savoir :

- Risque 1 : Dégradation des écosystèmes et des pêches, et dommages causés à ceux-ci;
- Risque 2 : Changements relatifs aux ressources biologiques;
- Risque 3 : Réorganisation et déplacement des espèces;

[1] Grand bassin aquatique d'eau douce – Tendances climatiques passées et prévisions – Programme des services d'adaptation aux changements climatiques en milieu aquatique. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques xxx (titre provisoire, manuscrit non publié)

[2] Grand bassin aquatique d'eau douce – Impacts, vulnérabilités et opportunités – Programme des services d'adaptation aux changements climatiques en milieu aquatique xxx (titre provisoire, manuscrit non publié)

- Risque 4 : Demande accrue de services d'intervention d'urgence;
- Risque 5 : Dommages aux infrastructures;
- Risque 6 : Changements à l'égard de l'accès et de la navigabilité des cours d'eau.

L'étendue des eaux douces canadiennes examinées a été restreinte dans l'évaluation pour des questions de faisabilité de l'analyse. Le GBA d'eau douce comprend les écosystèmes d'eau douce de deux des plus grandes régions intérieures du Canada : le bassin versant du lac Winnipeg (y compris les bassins hydrographiques des écozones des Prairies et boréale) et le bassin hydrographique des Grands Lacs du Saint-Laurent. Le bassin versant du lac Winnipeg comprend le lac Winnipeg, la rivière Winnipeg et le sous-bassin boréal, le sous-bassin de la rivière Rouge et de la rivière Assiniboine et le sous-bassin de la rivière Saskatchewan (figure 2). Le bassin hydrographique des Grands Lacs comprend les bassins hydrographiques canadiens et les principaux lacs du lac Supérieur, le lac Huron et la baie Georgienne, le lac Érié, le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent en aval de Québec, y compris tous les chenaux de jonction, affluents et lacs intérieurs de tout le bassin versant principal (figure 3). La géographie à grande échelle des deux sous-zones présente des différences observables importantes dans les courbes des tendances passées, chimiques comme physiques, qui ont été confondues par les cycles climatiques naturels et des agents de stress anthropiques. L'évaluation des risques décrite ici concerne l'ensemble du GBA d'eau douce et l'avis scientifique qui en est issu intègre les renseignements portant sur tous les sous-bassins. Les enjeux régionaux à plus petite échelle ne sont pas traités dans le présent rapport et des détails concernant de nombreux lacs et bassins hydrographiques intérieurs ont été exclus en raison des contraintes de temps et de données. Les bassins hydrographiques d'eau douce alimentant directement les GBAs marins ont été pris en considération dans l'étude des GBAs correspondants (p. ex., le bassin hydrographique du fleuve Mackenzie est examiné avec le GBA de l'Arctique).

Plusieurs responsabilités incombent à Pêches et Océans Canada dans les zones d'eau douce. Le MPO est chargé de gérer toutes les pêches du Canada, mais dans la plupart des eaux douces, cette responsabilité est déléguée aux provinces. La gestion des pêches dispose de programmes visant la conservation et la gestion des ressources halieutiques à des fins d'utilisation durable. Le Ministère mène des activités de planification intégrée de la gestion des pêches, de conservation, d'éducation, de mise en application des lois et règlements et d'aquaculture. Le Ministère jouit des mêmes compétences en matière d'aquaculture et de pêche, en vertu desquelles il a établi des régimes de gestion de l'aquaculture en coopération avec les provinces. La gestion de l'habitat du poisson (ou protection des pêches), les responsabilités prévues par la loi et les politiques sont administrées par Pêches et Océans Canada en vue de conserver, rétablir et augmenter les ressources halieutiques par des pratiques de développement durable. Pêches et Océans Canada est chargé de l'administration de la *Loi sur les espèces en péril* pour les espèces aquatiques, notamment dans toutes les eaux douces du pays. Il est aussi chargé des espèces aquatiques envahissantes dans les eaux douces. Le Ministère met en œuvre le plus grand programme de lutte contre les espèces aquatiques envahissantes au monde, le Programme de lutte contre la lamproie marine dans les Grands Lacs. Il exécute des programmes de recherche et de surveillance des espèces aquatiques envahissantes, offrant notamment un appui scientifique à Transports Canada dans la gestion des eaux de ballast pour la prévention de l'introduction d'espèces envahissantes par les navires. Pêches et Océans Canada a lancé un nouveau programme de prévention de l'établissement de la carpe asiatique envahissante au Canada.

Le Service hydrographique du Canada (SHC) de la région du Centre et de l'Arctique du MPO réalise des relevés hydrographiques et produit des cartes marines et des publications nautiques pour les eaux navigables de l'Ontario, du Manitoba, de la Saskatchewan et de

l'Arctique. Le SHC entretient par ailleurs un réseau composé de 34 indicateurs de niveau d'eau dans les Grands Lacs. Les données recueillies sont utilisées par le conseil de réglementation de la Commission mixte internationale, les navigateurs maritimes et les scientifiques. Elles servent aussi à l'élaboration d'un autre sous-produit : une publication mensuelle des niveaux d'eau dans les Grands Lacs et le port de Montréal.

La Garde côtière canadienne est chargée d'exécuter les programmes maritimes, comme les Services de communication et de trafic maritimes (SCTM), les Aides à la navigation, les Services de gestion des voies navigables, l'Intervention environnementale (IE), les Services de déglaçage, la Recherche et sauvetage (R et S) et la Sûreté maritime.

Pêches et Océans Canada mène des activités scientifiques dans le cadre de son mandat, au moyen du Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques (LGLPSA), de l'Institut des eaux douces et de la Division des sciences de l'environnement du Secteur des sciences de la région du Centre et de l'Arctique (C et A). Les activités de recherche comprennent des études complémentaires et qui se recoupent sur les thèmes de l'habitat du poisson, de la dynamique du réseau alimentaire, de la production halieutique, des effets écosystémiques de l'aquaculture, des espèces en péril et de la biodiversité.

Figure 2. Bassin hydrographique/versant du lac Winnipeg (carte produite par Environnement Canada dans État du lac Winnipeg : de 1999 à 2007 – Faits saillants).

Figure 3. Une partie du bassin versant des Grands Lacs. L'ensemble du bassin versant comprend le fleuve Saint-Laurent jusqu'à Québec.

Tendances et prévisions pour le bassin des eaux douces

Les tendances climatiques passées montrent que la température moyenne de l'air au Canada a augmenté de 1,2 °C depuis 58 ans (Environnement Canada 2006). Cependant, le réchauffement n'a pas été uniforme dans l'ensemble du pays. Ainsi, la température de l'air a augmenté de 1,2 °C dans les parties méridionales du Canada central, alors que la température moyenne observée en Ontario variait de 0 °C à 1,4 °C (Chiotti et Lavender 2008). Le réchauffement a été plus important en hiver et au printemps, conduisant à une modification des taux d'évaporation, une diminution des précipitations annuelles avec des chutes de neige moins importantes et plus de pluie, un raccourcissement des périodes de couverture de glace, phénomènes qui influent tous sur les écosystèmes d'eau douce par des processus hydrodynamiques et thermodynamiques. En outre, davantage de régions du Nord examinées dans l'étude devraient connaître une accélération des changements en raison du réchauffement de la planète.

En effet, les changements climatiques devraient modifier les écosystèmes d'eau douce sous l'effet de l'augmentation prévue de la température de l'air et, par conséquent, de la température de l'eau, ainsi que de la modification de la dynamique des glaces et de la neige; on notera particulièrement une diminution de la couverture de neige et de glace (ainsi que de l'épaisseur

et de la durée de celle-ci), et des modifications du calendrier (dates auxquelles les évènements ont lieu) , des caractéristiques, de la répartition et de la quantité des précipitations (annexe 1). Ces changements affecteront les cycles hydrologiques et donc la chimie de l'eau. L'évolution de l'évaporation, des caractéristiques des précipitations et de la dynamique des glaces devrait intensifier la fréquence des phénomènes extrêmes comme les inondations et les sécheresses et modifier physiquement les habitats et leur productivité.

Il est probable que ces changements climatiques se poursuivront, et leurs impacts devraient continuer de se répercuter sur l'exécution des activités du Ministère dans le GBA d'eau douce. Les impacts ne concernent pas seulement les risques pour les écosystèmes et leur gestion, mais aussi les risques techniques qui influent sur l'exécution des services et l'entretien des infrastructures du Ministère. La diminution des niveaux d'eau et la fréquence croissante des tempêtes demanderont des efforts plus grands en matière d'entretien des infrastructures, de cartographie, de relevés hydrographiques et de dragage des cours d'eau navigables.

Ces risques ont été discutés et analysés à partir des connaissances actuelles sur les tendances et les prévisions climatiques et leurs impacts en cascade sur les écosystèmes, les services et les infrastructures. Ils sont présentés ci-après. Ces résultats doivent être considérés comme temporaires, car ils se fondent sur des sommaires, ne sont pas exhaustifs et reposent essentiellement sur les jugements émis par des spécialistes dans leur évaluation.

Analyse et réponses

Récapitulatif des tendances et prévisions

Les participants ont examiné et approuvé un tableau récapitulatif des tendances et prévisions (TP) du climat, présentant les changements climatiques pour le GBA d'eau douce défini ci-dessus (annexe 1). Le tableau récapitulatif contient des renseignements sur les tendances passées (fondés sur des observations réalisées pendant les 50 ou 100 dernières années en fonction des données disponibles) ainsi que des prévisions (prévisions statistiques basées sur des modèles climatiques, le plus souvent pour la période allant de 2041 à 2070 – désignée par les années 2050 – par rapport à la période de référence allant de 1970 à 2000) pour plusieurs variables climatiques et limnologiques. Il n'a pas toujours été possible d'établir des tendances à long terme, soit parce qu'on ne disposait pas de suffisamment de données pour toutes les variables pour tous les sous-secteurs, soit parce que les anciennes prévisions étaient fondées sur des périodes de référence et de prévisions différentes. Ces limites ont été notées dans les tableaux détaillés des renseignements de base par sous-bassin, mais pas dans le tableau récapitulatif général présenté ici.

Les tendances et les prévisions climatiques résumées à l'annexe 1 et les feuilles de résumé des six principaux risques ont été élaborées à partir de revues scientifiques à comité de lecture. Les citations détaillées pour cette information se trouvent dans les rapports complets sur les TP et les IVO du GBA d'eau douce, qui seront publiés séparément (*à publier* [3,4]). Certaines

[3] Grand bassin aquatique d'eau douce – Tendances climatiques passées et prévisions – Programme des services d'adaptation aux changements climatiques en milieu aquatique. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques xxx (titre provisoire, manuscrit non publié)

[4] Grand bassin aquatique d'eau douce – Impacts, vulnérabilités et opportunités – Programme des services d'adaptation aux changements climatiques en milieu aquatique xxx (titre provisoire, manuscrit non publié)

références, concernant principalement les impacts, vulnérabilités et opportunités, sont indiquées à la fin de la présente réponse des Sciences.

Les tendances et prévisions climatiques cernées à l'annexe 1 visent à fournir une compréhension commune des modifications présentes et futures dans l'ensemble du GBA d'eau douce. Cette consolidation d'information est la base sur laquelle repose l'analyse des impacts des changements climatiques et l'avis formulé dans le présent rapport (annexe 1). Plusieurs hypothèses ont été posées au moment de préparer les feuilles de résumées basées sur les TP et les IVO :

- Les tendances et les prévisions présentées dans le rapport sont des moyennes ou des aires de répartition pour permettre une analyse globale des eaux douces au niveau du GBA en entier; cette simplification pourrait ne pas représenter l'ensemble de l'aire de répartition des conditions/impacts, ni la variabilité des données;
- Les interventions et pratiques d'adaptation humaines ne sont pas prises en compte dans les tendances projetées, l'évaluation des risques et la planification;
- Les impacts précis sur la pêche autochtone n'ont pas été pris en considération, mais devraient être inclus dans de futurs analyses;
- Les effets cumulatifs et l'augmentation des agents de stress (y compris ceux du climat) et leurs interactions ne sont pas traités dans la présente évaluation.

Feuilles de résumé des risques

Les participants ont passé en revue des feuilles de résumé des risques qui décrivent les principaux impacts, conséquences, opportunités et lacunes des changements climatiques pour chacun des six risques cernés dans l'évaluation des risques nationale (Interis 2005, 2012; annexes 2-7). Ces feuilles présentent la définition et le contexte des six risques en question. Elles se fondent sur les tendances et les prévisions décrites à l'annexe 1. L'explication des principaux facteurs de risque est étayée par des publications à comité de lecture, alors que les conséquences, opportunités et lacunes ont été déterminées par un consensus des spécialistes participant à la réunion. Les lacunes indiquent des sujets ou des domaines pour lesquels il n'existe pas de données et non des sujets ou domaines volontairement non examinés.

Chaque risque fut initialement étudié à court (10 ans) et à long (50 ans) terme dans le futur. Par contre, ces échelles temporelles ont finalement été combinées, soit a) parce que les prévisions à court terme étaient trop difficiles à prévoir ou à modéliser et étaient donc peu concluantes; soit b) parce que les résultats sur les deux échelles de temps étaient les mêmes en ce qui concerne l'impact de chaque risque pour le Ministère et que seule la probabilité d'occurrence variait entre ces échelles temporelles.

L'évaluation des risques a reposé sur l'expertise technique des spécialistes participants. Les trois premiers risques posés par les changements climatiques pour le Ministère concernent différents éléments des écosystèmes d'eau douce et les participants à l'atelier du Secteur des sciences en sont considérés comme les principaux spécialistes gouvernementaux. Les trois derniers risques (4 à 6) visent essentiellement les services techniques et les infrastructures en eau douce du MPO (notamment les ports, les quais, les cartes et le relèvement hydrographique, les navires, l'intervention d'urgence, le matériel et les bâtiments, etc.). Les participants ont évalué ces risques le mieux possible tout en estimant que cette partie de l'avis scientifique aurait gagné à recueillir de plus amples commentaires d'experts techniques des secteurs du MPO gérant les infrastructures (c.-à-d. les secteurs du MPO chargés de la

navigation, des services d'urgence et des infrastructures comme la Garde côtière canadienne et Ports pour petits bateaux). Les experts de ces secteurs n'ont pas pu participer à la réunion (voir la partie « Collaborateurs » plus bas), mais leur avis leur avait été demandé avant la réunion et a été inclus dans les feuilles de résumé des risques.

Chaque feuille de résumé des risques (risques 1 à 6) mettait en évidence les principaux facteurs des impacts potentiels des changements climatiques, à partir de la compilation des données des tendances et prévisions ainsi que des impacts, vulnérabilités et opportunités du GBA d'eau douce *(annexes 2-7)*. Les participants ont discuté des principaux facteurs de risque et des conséquences possibles(ou menaces) qui en découlent. Les risques 1, 2 et 3 avaient en commun plusieurs facteurs de risque principaux, conséquences possibles, opportunités et lacunes. Les facteurs de risque et les conséquences possibles ont été examinés séparément et la présentation de ces informations dans les tableaux en annexe ne suppose aucun lien direct entre les principaux facteurs de risque listés dans la partie gauche du tableau et la liste des conséquences nuisibles possibles figurant dans la partie droite. Les conséquences bénéfiques ont été considérées comme des opportunités.

Les définitions ci-dessous sont celles adoptées dans les feuilles de résumé des risques :

- Principaux facteurs de risque (ou source de risque) : Éléments qui, individuellement ou collectivement, ont le potentiel intrinsèque d'entraîner un risque.
- Conséquence : Résultat d'un événement ayant un impact sur les objectifs (l'événement étant tout ce qui se produit ou qui est capable de modifier une situation donnée).
- Lacune : Détermination de domaines scientifiques pour lesquels des connaissances sont absentes ou insuffisantes.
- Opportunité (d'un risque) : Aspect d'un risque permettant à un organisme de tirer profit de son impact, en fonction d'un ensemble précis de circonstances.

Les feuilles de résumé des risques visent à traiter tous les aspects des risques pour les écosystèmes et les infrastructures examinés, mais les participants ont remarqué des lacunes dans les connaissances disponibles. Ils ont ainsi constaté que les connaissances étaient insuffisantes sur le comportement des algues microbiennes, macrophytes et benthiques aux changements climatiques ainsi que sur la manière dont la productivité de ces organismes pouvait modifier et altérer les caractéristiques de l'eau. De même, la réaction des espèces aquatiques envahissantes aux changements climatiques et leurs interactions avec les espèces indigènes sont mal connues et difficiles à prévoir.

Les participants à l'atelier ont également estimé qu'il était ardu d'évaluer les risques posés par les changements climatiques en raison de la complexité et de la vaste superficie de la zone géographique. Les variations spatiales des impacts et des changements sont difficiles à évaluer quand ceux-ci sont synthétisés pour plusieurs sous-régions. À l'échelle géographique du GBA d'eau douce, les systèmes climatiques (influences climatiques régionales) et les systèmes aquatiques (caractéristiques et répartition des lacs, des rivières et des cours d'eau) sont très hétérogènes. Une grande partie des participants a aussi admis l'importance des incertitudes entourant les conséquences écosystémiques et la difficulté à les quantifier. Plus les systèmes changent, plus il est difficile de projeter les changements à venir, qui sont exacerbés par l'augmentation de la vulnérabilité de l'écosystème.

Enfin, les participants ont remarqué que la présente évaluation ne prévoit pas les adaptations et interventions humaines et n'en tient pas compte. Ces actions anthropiques ont des impacts

sur les variables physiques, chimiques et biologiques agissant sur la dynamique des écosystèmes. Citons comme exemples d'adaptation ou d'intervention humaine la dérivation intentionnelle de cours d'eau, l'enrochement de protection des rivages, la construction de fossés de drainage ou de digues, la régulation des niveaux d'eau, la modification des pratiques de pêche ainsi que les changements des règlements et des politiques. Un grand nombre de plans d'eau du GBA d'eau douce sont actuellement, pour différentes raisons, le théâtre de nombre de ces activités humaines, qui s'accompagnent toutes de conséquences sur les processus naturels et les écosystèmes.

Évaluation des risques

Après avoir examiné les éléments de chaque feuille de résumé des risques et être parvenus à un consensus, les participants ont mené à bien un processus d'évaluation des risques en bonne et due forme pour définir l'impact et la probabilité de chaque risque. Ce processus utilise des critères établis au préalable (annexe 8). Les participants ont été invités à voter sur l'impact de chaque risque et la probabilité que ce risque se présente a) d'ici 10 ans, et b) d'ici 50 ans. Tous les participants pouvaient voter anonymement (logiciel Ballot 2013 de BPS Resolver Inc.; n = 16 pour tous les scrutins). Les résultats des votes ont été examinés en séance plénière. Dans les cas où les résultats indiquaient un profond désaccord, les résultats ont été discutés et le vote a été renouvelé. L'impact et la probabilité de chaque risque ont été étudiés séparément.

Avant le processus de vote, les participants ont examiné et commenté une liste d'hypothèses préparées et notées pendant les discussions de la réunion.

- La probabilité que le risque se concrétise est évaluée pour les 10 et les 50 prochaines années.
- Les agents de stress humains devraient augmenter dans un avenir prévisible mais ne sont pas pris en compte dans le présent exercice.
- L'hétérogénéité spatiale des paysages terrestres et aquatiques et des modes d'utilisation par l'homme nuit à la capacité d'intégrer prévisions et impacts au niveau du GBA d'eau douce.
- Nous devons supposer que les activités de Pêches et Océans Canada se poursuivront de manière identique dans le futur.
- Les tendances projetées du modèle pourraient être trop conservatrices.

* L'évaluation des risques a été réalisée alors que les groupes de spécialistes des Ports pour petits bateaux et d'autres clients des infrastructures étaient sous-représentés.

La plupart des résultats du vote suivaient la loi normale, sauf le risque 2 (changements relatifs aux ressources biologiques), dont la répartition était uniforme dans les votes sur l'impact et la probabilité.

Cartes des points chauds des risques

Résultats

Pour présenter les résultats des votes portant sur le niveau d'impact de chaque risque (annexes 2-7) en fonction de la probabilité perçue que le risque survienne dans les échelles temporelles de 10 et de 50 ans, on a créé des cartes des points chauds du risque (figures 4 et 6) à l'aide du logiciel Ballot (BPS Resolver Inc. 2013). Les votes sur le degré d'impact de

chaque risque n'ayant été recueillis qu'une seule fois, les notes d'impact sont identiques sur les figures 4 et 6. La probabilité de chaque risque sur les cartes de points chauds pour les 10 et 50 prochaines années est toutefois redéfinie en fonction des votes obtenus pour chaque échelle temporelle. L'indice de risque (c.à.d. l'exposition au risque; produit du classement de l'impact et de la probabilité) pour chaque risque est présenté aux figures 5 et 7, pour les échelles temporelles de 10 et de 50 ans, respectivement. Plus l'indice de risque est grand, plus le risque pose une menace au département.

Globalement, les plus grands risques pour le mandat ministériel dans les milieux d'eau douce sont la dégradation des écosystèmes et des pêches et les dommages causés à ceux-ci (risque 1; impact très élevé à extrême, probabilité modérée à presque certaine) et les changements à l'égard de l'accès et de la navigabilité des cours d'eau (risque 6; impact moyen à extrême, probabilité modérée à presque certaine) (figures 4 à 7). Ils obtiennent l'indice de risque le plus élevé. L'indice de risque de la réorganisation des espèces, des dommages aux infrastructures, et des changements relatifs aux ressources biologiques (risques 3, 5 et 2) étaient étroitement groupés pour les deux échelles temporelles, ce qui indique une perception des impacts et de la probabilité similaires. De ce groupe, seul le risque lié aux changements relatifs aux ressources biologiques (risque 2) fut considéré comme ayant un impact potentiellement très élevé voir extrême si celui-ci se produisait, mais avec un probabilité d'actualisation plus faible (figure 4 et 6). Il est prévu que, parmi tous les risques cernés, la demande accrue de services d'interventions d'urgence (risque 4) présente la plus faible exposition au risque pour le MPO, et ce pour les deux échelles temporelles.

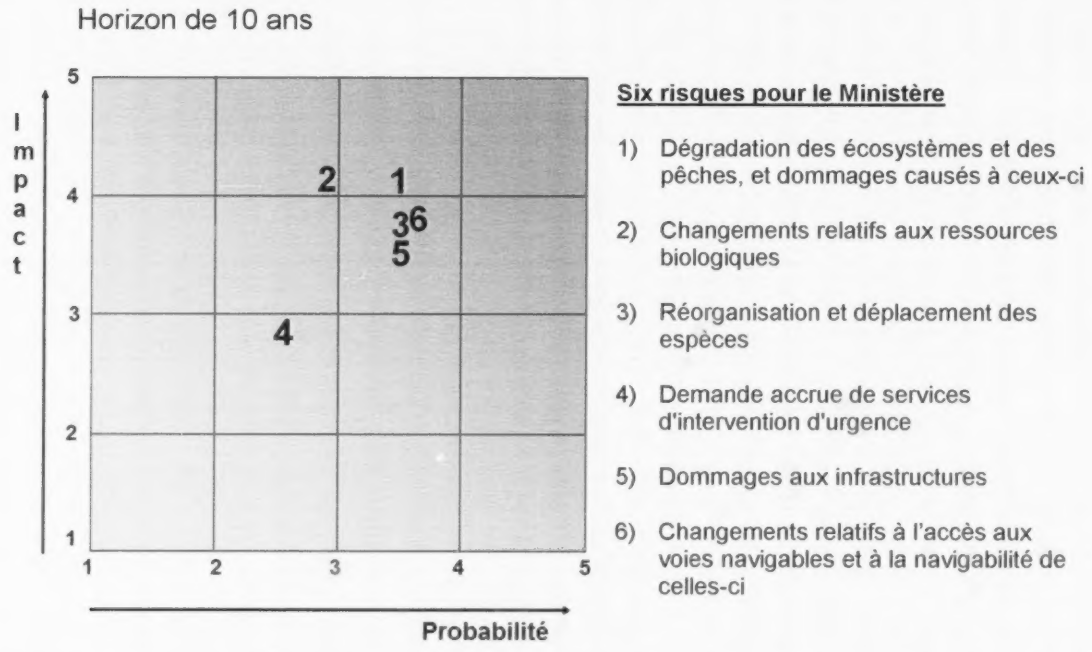


Figure 4. Carte des points chauds montrant l'impact des six risques pour le Ministère par rapport à leur probabilité sur une échelle temporelle de 10 ans.

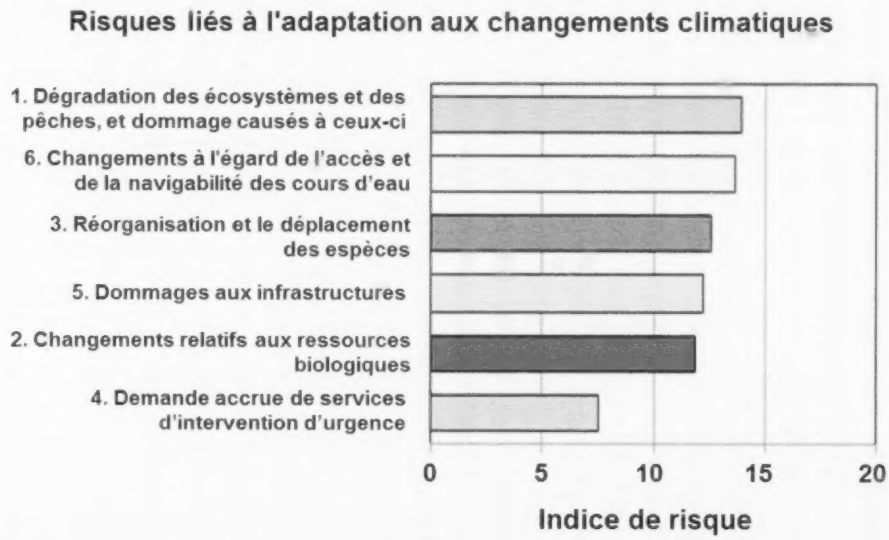


Figure 5. Histogramme montrant l'indice de risque (exposition au risque) pour chaque risque du MPO, sur une échelle temporelle de 10 ans. L'indice de risque correspond au produit de l'impact du risque par le rang de la probabilité d'occurrence de ce dernier dans le classement.

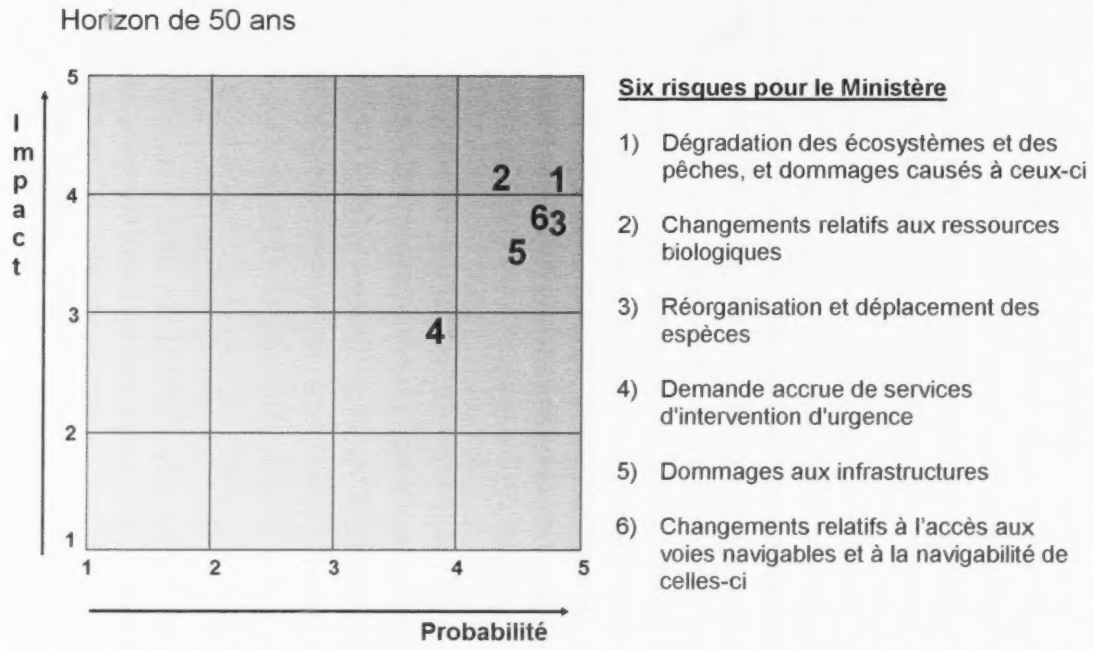


Figure 6. Carte des points chauds montrant l'impact des six risques pour le Ministère par rapport à leur probabilité sur une période temporelle de 50 ans.

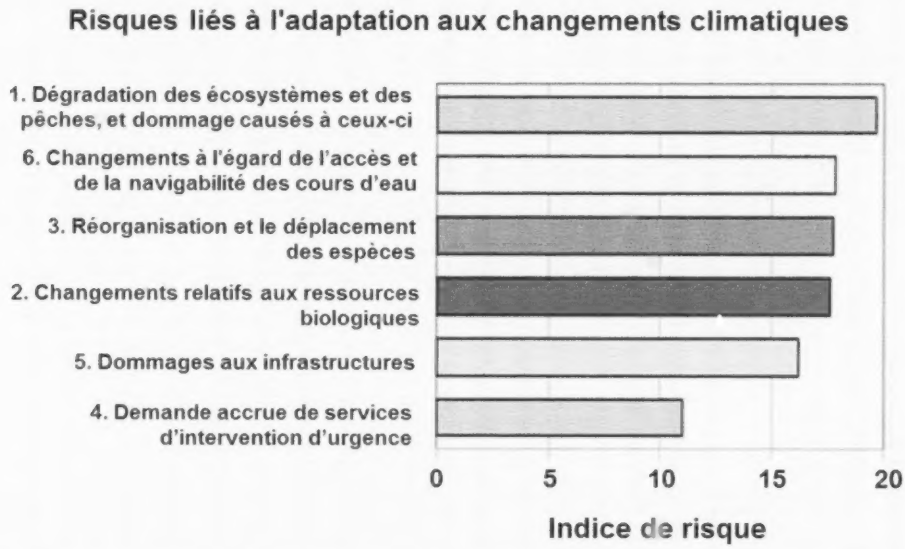


Figure 7. Histogramme montrant l'indice de risque (exposition au risque) pour chaque risque du MPO, sur une échelle temporelle de 10 ans. L'indice de risque correspond au produit de l'impact du risque par le rang de la probabilité d'occurrence de ce dernier dans le classement.

En séparant maintenant l'index du risque en ces composantes (impact et probabilité) et en se penchant sur « l'impact », on prévoit que les trois risques écosystémiques (risques 1, 2 et 3) ainsi que le risque de dommages aux infrastructures (risque 5) et des changements relatifs à

l'accès à la navigabilité (risque 6) auront un impact en moyenne très élevé pour le MPO (figures 4 et 6). Des risques très élevés peuvent entraîner des événements critiques nécessitant une gestion adaptée. L'évaluation de l'impact des changements relatifs aux ressources biologiques (risque 2) présentait la plus grande fourchette de votes – votes allant d'impact faible à extrême, alors que la majorité des autres votes pour risques 1, 3, 5 et 6 se répartissaient de manière égale entre les catégories « impact extrême » et « impact très élevé ». Selon les prévisions, la demande accrue de services d'intervention d'urgence (risque 4) devrait avoir un impact moyen et consister en des événements gérables par le MPO dans des circonstances normales. La demande accrue de services d'intervention d'urgence (risque 4) comporte deux facettes : le risque que le Ministère ait à traiter les dommages causés à l'environnement par les déversements et le risque représenté par la gestion des opérations de sauvetage dans la région (p. ex, recherche et sauvetage, assistance aux navires).

Regardant maintenant la composante « probabilité » de l'index du risque, pour la dégradation des écosystèmes et des pêches et les dommages causés à ceux-ci (risque 1), les dommages aux infrastructures (risque 5) et les changements à l'égard de l'accès et de la navigabilité des cours d'eau (risque 6), la probabilité a été considérée en moyenne comme probable pour l'échelle temporelle de 10 ans et de presque certaine pour celle de 50 ans (figures 4 et 6). La probabilité que le risque de changements relatifs aux ressources biologiques (risque 2) survienne a été classée comme modéré pour les 10 prochaines années et comme probable pour la période de 50 ans. L'actualisation du risque de réorganisation et déplacement des espèces (risque 3) a été jugée probable pour l'échelle temporelle de 10 ans et presque certaine pour la période de 50 ans. Le risque de demande accrue de services d'intervention d'urgence (risque 4) a été considéré comme ayant une probabilité d'actualisation probable ou modéré pour la période de 10 ans et comme probable pour celle de 50 ans. Pour tous les risques, la probabilité a été perçue comme beaucoup plus élevée dans la prévision sur 50 ans (probabilité classée de presque certaine à probable) que dans la prévision sur 10 ans (probabilité classée de probable à modérée).

Discussion

Le haut niveau de risque pour le Ministère relatifs aux changements climatiques futurs affectant les pêches, les ressources biologiques, le déplacement des espèces et la réorganisation des communautés (risques 1, 2 et 3) s'explique à la fois par la continuelle expansion des pressions de la pêche commerciale, récréative et autochtone en raison de l'accès accru aux ressources et par l'augmentation des pressions sur les espèces pêchées actuellement auxquelles nuisent les facteurs climatiques et les impacts sur le système qui ont été déterminés (effets cumulatifs). La perte d'espèces de poissons d'eau froide et la diminution de la taille des individus pourraient considérablement influer sur les pêches commerciales, récréatives, de subsistance ou autochtones. En raison de l'augmentation de la température de l'eau, l'aire de répartition des poissons d'eau froide et chaude se déplacerait vers le nord, offrant de nouvelles possibilités de pêche. Le MPO a la responsabilité ultime de ces ressources et, alors que les changements climatiques continuent à modifier les systèmes biologiques et l'environnement, le MPO peut être appelé à protéger ou à gérer un plus grand nombre d'espèces prélevées ou à gérer différemment les activités humaines concernant ces pêches. Les changements à l'égard de l'accès et la navigabilité (risque 6) présente également une forte exposition au risque pour le département en raison de l'augmentation potentielle d'érosion et de sédimentation causée par des tempêtes fortes. Ceci pourrait nécessiter plus de dragage et le réacheminement temporaire des voies navigables. De plus, les périodes de sécheresse dans certaines régions ont le potentiel d'affecter la connectivité des voies navigables et de écluses en raison de niveaux

d'eau réduits. Ces changements auront également un effet sur l'infrastructure du MPO (risque 5).

Sources d'incertitude et autres considérations

Pour chacun des six risques pesant sur le MPO, les participants ont déterminé les lacunes dans les connaissances qui limitaient leur compréhension des impacts des changements climatiques sur le Ministère (annexes 2-7). Pendant le vote, les participants ont classé certains impacts et probabilités à partir de données qualitatives en raison de l'absence d'information quantitative ou du fait qu'elle était insuffisamment documentée dans les publications consultées.

Les participants font observer que certains systèmes aquatiques du GBA d'eau douce sont gérés. Dans certains cas, il est difficile de savoir s'il faut attribuer les tendances observées à long terme aux changements climatiques ou aux pratiques de gestion directe (p. ex., effluents thermiques, contamination, dérivation de cours d'eau, barrages, régulation des niveaux d'eau, autres impacts sur l'utilisation des terres, etc.). Les participants ont également remarqué que la définition de contrôles de gestion et leurs impacts pourraient contribuer de façon importante à la détermination d'une réponse appropriée aux futurs changements climatiques.

Il est globalement admis que toutes les variables climatiques n'évolueront pas linéairement, que les modèles climatiques actuels ne tiennent pas compte de l'effet de feed-back (p. ex., l'adaptation humaine) et que les variables climatiques censées changer d'après les prévisions pourraient connaître des interactions complexes, qui ne sont pas complètement comprises. De plus, les répercussions d'une multiplicité d'agents de stress sont insuffisamment connues (des espèces aquatiques envahissantes par exemple). Les modèles climatiques et écosystémiques n'incluent pas encore tous les effets de feed-back et les boucles de rétroaction possibles.

Les participants ont reconnu qu'on ne disposait pas de suffisamment d'études publiées présentant des prévisions pour plusieurs variables liées au climat. En particulier, les changements que connaîtront les contaminants et la charge en nutriments dans l'eau n'ont pas été totalement évalués ou sont présentés par des modèles incomplets. Les concentrations de contaminants sont par exemple difficiles à prédire, mais elles varieront en fonction de l'évolution des précipitations. De plus, très peu de données concernent des prévisions de l'érosion, de l'accrétion, des inondations, des tempêtes et des modifications des voies navigables. En général, les renseignements sur les modifications des processus côtiers et fluviaux étaient insuffisants. Il existe des prévisions sur les vents de la région, mais les résultats différaient considérablement d'une étude à l'autre, ce qui fait qu'ils n'ont pas pu être synthétisés dans le présent rapport. Ces lacunes réduisent notre capacité à prédire les impacts sur les voies navigables de jonction et le déplacement des espèces. Les effets des changements climatiques sur l'acidité de l'eau, l'eau souterraine, la fonte du pergélisol et la fonte glaciaire dans les cours supérieurs des rivières sont mal connus ou n'ont pas encore été explicitement modélisés.

Les participants ont conclu que certaines espèces aquatiques pourraient s'adapter aux changements climatiques. Cependant, cette adaptation serait plus lente que les modifications des variables climatiques. Par exemple, il est très peu probable que les espèces d'eau froide, comme le touladi, s'adaptent suffisamment rapidement aux changements climatiques pour éviter une grande modification de leurs aires de répartition. Bien qu'elles soient mal comprises, ces structures de changement devraient avoir des répercussions capitales sur les trois risques

biologiques selon les participants (p. ex., en conduisant éventuellement à une diminution globale de la biodiversité plutôt qu'à de simples déplacements des aires de répartition).

On sait que les événements météorologiques extrêmes sont exacerbés par les changements climatiques, mais aucune prévision au niveau régional ne le documente à l'heure actuelle pour le GBA d'eau douce. Les participants ont convenu que les événements extrêmes (p. ex., vent/vagues, tempêtes) pourraient avoir des répercussions majeures sur les risques biologiques (risques 1 à 3) et techniques (risques 4 à 6). Leur impact éventuel (p. ex., érosion) sur des habitats importants pour les pêches, les espèces envahissantes et les espèces en péril est particulièrement pertinent ici. Dans de nombreux cas, la compréhension des événements météorologiques extrêmes est déduite des analyses mondiales du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC 2012) et d'inférences formulées par des participants à partir d'autres renseignements. Le groupe a également discuté du fait que les tendances projetées étaient conservatrices par rapport aux observations actuelles qui s'orientaient vers des changements de plus grande ampleur.

Les participants ont intégré l'information fournie dans les feuilles de résumé et les documents de renseignements de base dans leur évaluation, puis leurs votes sur l'impact et la probabilité des risques. Ils ont toutefois rappelé que les rapports d'information et l'information préparée pour l'évaluation des risques ont été élaborés par sous-bassin et n'étaient pas tous rédigés par le même auteur. Ces différences et l'hétérogénéité des méthodes de compilation de l'information pour chaque sous-bassin sont susceptibles d'influer sur les interprétations individuelles des risques.

Enfin, il aurait été préférable d'avoir plus de commentaires des experts techniques des secteurs du MPO qui gèrent les infrastructures, avant et pendant la réunion, pour traiter des risques 4 à 6. Néanmoins, des entretiens avaient été menés avec certains représentants de ces clients du MPO et leurs commentaires ont été présentés dans les feuilles de résumé des risques 4 à 6.

Conclusions

Les participants ont cerné plusieurs menaces et opportunités communes pour le Ministère (tableau 1). L'examen des six risques a fait ressortir ces éléments communs aux risques biologiques (risques 1 à 3) et techniques (risques 4 à 6).

Tableau 1. Menaces et opportunités communes aux risques biologiques (risques 1 à 3) et techniques (risques 4 à 6).

	Menaces	Opportunités
Risques biologiques	Modification de la répartition et de la composition des espèces.	Augmentation de l'habitat et de la disponibilité de nourriture pour certaines espèces (poissons d'eau tempérée et chaude).
	Pertes d'habitats importants/essentiels.	Augmentation des possibilités de pêche (commerciale, de subsistance, récréative).
	Diminution de la taille selon l'âge des poissons.	
	Concentrations accrues de contaminants et de nutriments.	
Risques techniques	Augmentation des problèmes de santé et de sécurité (du public et des employés)	Allongement de la saison d'eau libre (p. ex., navigation, tourisme, pêche).
	Allongement de la saison et augmentation de la demande de services.	

Les participants ont considéré que, des six risques, tous les risques biologiques (risques 1, 2 et 3) poserait des risques potentiellement très élevés sur le MPO, mais que la dégradation des écosystèmes et des pêches et les dommages causés à ceux-ci (risque 1) et les changements à l'égard de l'accès et de la navigabilité des cours d'eau (risque 6) auraient le plus grand impact et la plus grande probabilité d'occurrence dans les 10 et 50 prochaines années. Le risque des changements relatifs aux ressources biologiques (risque 2), de la réorganisation et du déplacement des espèces (risque 3) et des dommages aux infrastructures (risque 5) a également été jugé très élevé. L'exposition au risque de la demande accrue de services d'intervention d'urgence (risque 4) a été perçue comme moyenne. La probabilité de tous les risques était supérieure pour l'échelle temporelle de 50 ans que pour celle de 10 ans.

Pour chaque risque, plusieurs lacunes dans les connaissances ont été soulignées dans les feuilles de résumé, ainsi que des sources globales d'incertitude et d'autres considérations. Il était important de cerner ces lacunes pour déterminer le contexte dans lequel les participants ont évalué les risques que présentaient les changements climatiques pour le Ministère. À l'avenir, il faudrait combler les lacunes dans les connaissances pour que le Ministère puisse mieux comprendre les risques posés par les changements climatiques.

Les menaces et opportunités ont été définies et exposées dans les feuilles de résumé. Plusieurs menaces et opportunités communes aux risques biologiques et techniques se sont détachées, notamment :

- la perte d'habitats importants;
- l'allongement de saison;
- la demande de services (menaces);
- l'augmentation des possibilités de pêche;
- l'allongement des saisons de pêche (opportunité).

Les résultats de la réunion indiquent que les risques biologiques seraient les plus grands risques liés aux changements climatiques pour le Ministère dans le GBA d'eau douce. Cette évaluation bénéficiera des futures réunions d'intégration (résultats de l'évaluation scientifiques, socio-économiques et politiques), qui aideront à classer les risques par ordre de priorité et refléteront plus précisément les impacts des changements climatiques sur le MPO au niveau départemental dans le GBA d'eau douce. L'évaluation des risques du PSACCMA est un processus itératif. Les renseignements découlant des réunions de gestion intégrée du risque, les documents d'information mis à jour et la participation accrue d'autres experts scientifiques et techniques aux futures réunions consultatives d'évaluation des risques du Secteur des sciences (c.-à-d. taille de l'échantillon accrue aux fins de vote, expertise et expérience plus importantes) augmenteront la fiabilité des futures évaluations.

Collaborateurs

Nom	Affiliation
Sommer Abdel-Fattah	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Paul Blanchfield	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Gavin Christie (coprésident)	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Cindy Chu	Post-doctorat financé par le MPO
Susan Doka	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Alain Dupuis	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Marie-Claude Fortin	Secteur des sciences du MPO, région de la capitale nationale
Haitham Ghamry	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Ray Hesslein	Émérite, Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Scott Higgins	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Elizabeth Joyce	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Marten Koops	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Shidan Murphy	Post-doctorat financé par le MPO
Gilles Olivier (coprésident)	Secteur des sciences du MPO, région de la capitale nationale
Tom Pratt	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Patricia Ramlal	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Jim Reist	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
Mike Rennie	Secteur des sciences du MPO, région du Centre et de l'Arctique
George Schlagintweit	Service hydrographique du Canada, région du Centre et de l'Arctique
Lee-Ann Smith	Politiques stratégiques du MPO, spécialiste de la gestion intégrée des risques, région du Centre et de l'Arctique

Approuvé par

Helen Joseph, directrice, Océanographie et climat, Secteur des sciences des écosystèmes, Ottawa, Ontario (approuvé le 22 février 2013).

Sources d'information

Allen, J.D., Walker, G.K., Adams, J.V., Nichols, S.J., and Edsall, C.C. 2005. Embryonic developmental progression in Lake Trout (*Salvelinus namaycush*) (Walbaum, 1792) and its relation to lake temperature. J. Great Lakes Res. 31: 187-209.

Austin, J.A., and Colman, S.M. 2007. Lake Superior summer water temperatures are increasing more rapidly than regional air temperatures: A positive ice-albedo feedback. Geophys. Res. Letters 34: L06604.

Baird, H.B., Krueger, C.C., and Josephson, D.C. 2002. Differences in incubation period and survival of embryos among Brook Trout strains. North American Journal of Aquaculture 64: 233-241.

Boyce, F.M., Hamblin, P.F., Harvey, L.D., Schertzer, W.M., and McCrimmon, R.C. 1993. Response of the thermal structure of Lake Ontario to deep cooling water withdrawals and to global warming. J. Great Lakes Res. 19: 603-616.

BPS Resolver Inc. Ballot Software © 2013 BPS Resolver Inc. Tous droits réservés. Version 7.2.0.20. Accès : http://www.bpsresolver.com/

Brooke, L.T. 1975. Effect of different constant incubation temperatures on egg survival and embryonic-development in Lake Whitefish (*Coregonus clupeaformis*). Trans. Am. Fish. Soc. 104: 555-559.

Brown, L.C., and Duguay, C.R. 2010. The response and role of ice cover in lake-climate interactions. Prog. Physical Geog. 34: 671-704.

Casselman, J.M. 1995. Survival and development of Lake Trout eggs and fry in eastern Lake Ontario – *in situ* incubation, Yorkshire Bar, 1989-1993. J. Great Lakes Res. 21(Supplement 1): 384-399.

Chiotti, Q. et Lavender, B. 2008. Ontario. *In* Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007. Éditeur : D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix, E. Bush. Ottawa (Ont.) : Gouvernement du Canada. p. 227-274.

Casselman, J.M. 2002. Effects of temperature, global extremes, and climate change on year class production of warmwater, coolwater, and coldwater fishes in the Great Lakes basin. American Fisheries Society Symposium 32: 39-60.

Christie, G.C., and Regier, H.A. 1988. Measures of optimal thermal habitat and their relationship to yields for four commercial fish species. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45: 301-314.

Chu, C., Jones, N.E., Mandrak, N.E., Piggott, A.R., and Minns, C.K. 2008. The influence of air temperature, groundwater discharge, and climate change on the thermal diversity of stream fishes in Southern Ontario Watersheds. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65: 297-308.

Chu, C., Minns, C.K., and Mandrak, N.E. 2003. Comparative regional assessment of factors impacting freshwater fish biodiversity in Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60: 624-634.

Chu, C., Mandrak, N.E., and Minns, C.K. 2005. Potential impacts of climate change on the distributions of several common and rare freshwater fishes in Canada. Divers. Distrib. 11(4): 299-310.

Croley, T.E. 2003. Great Lakes climate change hydrological impact assessment, IJC Lake Ontario – St. Lawrence River regulation study. (NOAA Tech. Memo. GLERL-126). Ann Arbor (MI) : Great Lakes Environmental Research Laboratory.

DeStasio, B.T., Hill, D.K., Kleinhans, J.M., Nibbelink, N.P., and Magnuson, J.J. 1996. Potential effects of global climate change on small north-temperate lakes: Physics, fish, and plankton. Limnol. Oceanogr. 41(5): 1136-1149.

Environnement Canada. 2005. Une introduction au changement climatique : Une perspective canadienne. Ottawa (Ont.) : Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux. Accès : http://www.ec.gc.ca/Publications/267EFF5B-C262-409E-BB6E-4C4F1EB39865/UneIntroductionFR.pdf

Environnement Canada. 2006. Bulletin des tendances et des variations climatiques. Ottawa (Ont.) : Service météorologique du Canada, Direction de la recherche climatologique. Accès : www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/

Fee, E.J., Hecky, R.E., Kasian, S.E.M., and Cruickshank, D.R. 1996. Effects of Lake Size, Water Clarity, and Climatic Variability on Mixing Depths in Canadian Shield Lakes. Limnol. Oceanogr. 41(5): 912-920.

Gan, T.Y. 1998. Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies. Water Resour. Res. 34(11): 3009-3015.

Gan, T.Y. 2000. Reducing vulnerability of water resources of Canadian Prairies to potential droughts and possible climate warming. Water Resource Management 14: 111-135.

Gatter, W. 1992. Timing and patterns of visible Autumn migration: Can effects of global warming be detected? J. Ornithol. 133(4): 427-436.

Hasnain, S.S. 2012. Impacts of Climate Change on Fish Communities and Food Webs of Great Lakes, St. Lawrence River and Saskatchewan-Nelson River watersheds. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.

Hill, D.K., and Magnuson, J.J. 1990. Potential effects of global climate warming on the growth and prey consumption of Great Lakes fish. Trans. Am. Fish. Soc. 119: 265-275.

Interis. 2005. Rapport d'évaluation des risques associés aux changements climatiques pour Pêches et Océans Canada. Interis Consulting Inc. Ottawa. Accès : http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/oceanography-oceanographie/accasp/index-fra.html

Interis. 2012. Profil national des risques associés aux changements climatiques – Mise à jour en 2012. Interis Consulting Inc. Ottawa. Accès : http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/oceanography-oceanographie/accasp/index-fra.html

[GIEC] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 1996. Changements climatiques 1995 : Incidences de l'évolution du climat, mesures d'adaptation et d'atténuation : Analyse scientifique et technique. Contribution du Groupe de travail II au deuxième rapport d'évaluation. Cambridge (Royaume-Uni) : Cambridge University Press.

[GIEC] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor and P.M. Midgley. Cambridge (Royaume-Uni) : Cambridge University Press.

Ivan, L.N., Rutherford, E.S., Riseng, C., and Tyler, J.A. 2010. Density, production, and survival of Walleye (*Sander vitreus*) eggs in the Muskegon River, Michigan. J. Great Lakes. Res. 36: 328-337.

Jackson, D.A., and Mandrak, N.E. 2002. Changing fish biodiversity: Predicting the loss of cyprinid biodiversity due to global climate change. *In* Fisheries in a Changing Climate. Edited by N.A. McGinn. American Fisheries Society, Symposium 32, Bethesda (MD). p. 89-98.

Jonsson, B., and Jonsson, N. 2009. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. Journal of Fish Biology 75(10): 2381-2447.

Kling, G., Hayhoe, K., Johnson, L., Lindroth, R., and Magnuson, J.J. 2003. Confronting Climate Change in the Great Lakes Region. Union of Concerned; Scientists, Ecological Society of America. [consulté le 14 novembre 2012]. Accès : http://www.ucsusa.org/greatlakes/glchallengetoc.html

LaValle, P.D., and Lakhan, V.C. 2000. An Assessment of Lake-Level Fluctuations on Beach and Shoreline Changes. Coastal Management 28(2): 161-173.

Lévesque, J., and Page, E. 2011. Lake Winnipeg and its watershed. *In* State of Lake Winnipeg: 1999 to 2007. Environnement Canada, Gestion des ressources hydriques Manitoba. p. 6-18.

Lodge, D.M. 1993. Biological invasions: Lessons for ecology. Trends in Ecology and Evolution 8: 133-137.

Lofgren, B.M., Quinn, F.H., Clites, A.H., Assel, R.A., Eberhardt, A.J., and Luukkonen, C.L. 2002. Evaluation of potential impacts on Great Lakes water resources based on climate scenarios for two GCMs. J. Great Lakes Res. 28: 537-554.

Magnuson, J.J., and DeStasio, B.T. 1997. Thermal niche of fishes and global warming. *In* Global Warming: Implications for Freshwater and Marine Fish. Edited by C.M. Wood and D.G. McDonald. SEB Seminar Series. Cambridge (Royaume-Uni) : Cambridge University Press. p. 377-408.

Magnuson, J.J., Krohelski, J.T., Kunkel, K.E., and Robertson, D.M. 2003. Wisconsin waters and climate: Historical changes and possible futures. Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts, and Letters.

Magnuson, J.J., Webster, K.E., Assel, R.A., Bowser, C.J., Dillon, P.J., Eaton, J.G., Evans, H.E., Fee, D.J., Hall, R.I., Mortsch, L.R., Schindler, D.W., and Quinn, F.H. 1997. Potential effects of climate change on aquatic systems: Laurentian Great Lakes and Precambrian Shield Region. *In* Freshwater Ecosystems and Climate Change in North America: A Regional Assessment. Edited by C.E. Cushing. Advances in Hydrological Processes. John Wiley & Sons. p. 7-53. [Article aussi paru dans Hydrological Processes 11(6), 1997].

Mandrak, N.E., and Cudmore, B. 2010. The fall of Native Fishes and the rise of Non-native Fishes in the Great Lakes Basin. Aquatic Ecosystem Health & Management 13(3): 255-268.

McDonald, M.E., Hershey, A.E., and Miller, M.C. 1996. Global warming impacts on lake trout in arctic lakes. Limnol. Oceanogr. 41: 1102-1108.

Meisner, J.D. 1990. Potential loss of thermal habitat for brook trout, due to climatic warming in two southern Ontario streams. Trans. Am. Fish. Soc. 119: 282-291.

Millerd, F. 2007. Global climate change and Great Lakes international shipping. Waterloo (Ont.), Canada : Wilfrid Laurier University. Mai.

Minns, C.K., and Moore, J.E. 1995. Factors limiting the distributions of Ontario's freshwater fishes: The role of climate and other variables, and the potential impacts of climate change. *In* Climate Change and Northern Fish Populations. Edited by R.J. Beamish. Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences 121, Ottawa, Canada. p. 137-160.

Myers, R.A. 1998. When do environment-recruitment correlations work? Reviews in Fish Biology and Fisheries 8: 285-305.

National Wildlife Federation. 2012. Global-Warming Effects on Wildlife and Habitat. [consulté le 12 novembre 2012]. Accès : http://www.nwf.org/Global-Warming/Effects-on-Wildlife-and-Habitat/Great-Lakes.aspx

Paerl, H., Hall, N., and Calandrino, E. 2011. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climate-induced change. Science of The Total Environment 409(10): 1739-1745.

Palmer, T.N., and Räisänen, J. 2002. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. Nature 415: 512-514.

Peeters, F., Livingstone, D.M., Goudsmit, G.H., Kipfer, R., and Forster, R. 2002. Modeling 50 years of historical temperature profiles in a large central European lake. Limnol. Oceanogr. 47: 186-197.

Poitras, V., Sushama, L., Seglenieks, F., Khaliq, M.N., and Soulis, E. 2011. Projected Changes to Streamflow Characteristics over Western Canada as Simulated by the Canadian RCM. J. Hydrometeor. 12: 1395-1413.

Schindler, D.W. 2001. The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58: 18-29.

Schindler, D.W. 2009. Lakes as sentinels and integrators for the effects of climate change on watersheds, airsheds, and landscapes. Limnol. Oceanogr. 54(6, part 2): 2349-2358.

Schindler, D.W., Bayley, S.E., Parker, B.R., Beaty, K.G., Cruikshank, D.R., Fee, E.J., Schindler, E.U., and Stainton, M.P. 1996a. The effects of climatic warming on the properties of boreal lakes and streams at the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario. Limnol. Oceanogr. 41(5): 1004-1017.

Schindler, D.W., Curtis, P.J., Parker, B.R., and Stainton, M.P. 1996b. Consequences of climate warming and lake acidification for UV-b penetration in North American boreal lakes. Nature 379: 705-708.

Schindler, D.W., Curtis, P.J., Bayley, S.E., Parker, B.R., Beaty, K.G., and Stainton, M.P. 1997. Climate-induced changes in the dissolved organic carbon budgets of boreal lakes. Biogeochemistry 36: 9-28.

Schlesinger, D.A., and Regier, H.A. 1982. Climatic and morphoedaphic indices of fish yields from natural lakes. Trans. Am. Fish. Soc. 111: 141-150.

Sellinger, C.E., Stow, C.A., Lamon, E.C., and Qian, S.S. 2008. Recent water level declines in the Lake Michigan-Huron system. Environ. Sci. Technol. 42: 367-373.

Sharma, S., Vander Zanden, M.J., Magnuson, J.J., and Lyons, J. 2011. Comparing climate change and species invasions as drivers of coldwater fish population extirpations. PLoS ONE 6: e22906. doi:10.1371/journal.pone.0022906.

Shuter, B.J., Minns, C.K., and Lester, N. 2002. Climate change, freshwater fish and fisheries: Case studies from Ontario and their use in assessing potential impacts. *In* Fisheries in a Changing Climate. Edited by N.A. McGinn. American Fisheries Society, Symposium 32, Bethesda (MD). p. 77-88.

Stefan, H.G., Fang, X., and Eaton, J.G. 2001. Simulated fish habitat changes in North American lakes in response to projected climate warming. Trans. Am. Fish. Soc. 130: 459-477.

Trumpickas, J., Shuter, B.J., and Minns, C.K. 2009. Forecasting impacts of climate change on Great Lakes surface water temperatures. J. Great Lakes Res. 35(3): 454-463.

[EPA] U.S. Environmental Protection Agency. 2008. The Great Lakes: An Environmental Atlas and Resource Book. [consulté le 23 octobre 2012]. Accès : http://www.epa.gov/glnpo/atlas/glat-ch2.html

[EPA] U.S. Environmental Protection Agency. 1995. Ecological impacts from climate change: An economic analysis of freshwater recreational fishing: a report prepared for the United States Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning, and Evaluation, Climate Change Division, Adaptation Branch. Washington (DC).

[USGCRP] US Global Change Science Research Program. 2009. Global Climate Change Impacts in the United States. Accès : http://www.globalchange.gov/what-we-do/assessment/previous-assessments/global-climate-change-impacts-in-the-us-2009

Vander Zanden, M.J., Casselman, J.M., and Rasmussen, J.B. 1999. Stable isotope evidence for the food web consequences of species invasions in lakes. Nature 401: 464-467.

Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesank, C., Beebee, T., Fromentin, J., Hoegh-Guldbergl, O., and Bairlein, F. 2002. Ecological Responses to Recent Climate Change. Nature 416: 389-395. Macmillan Magazines Ltd.

Wang, J., Bai, X., Hu, H., Clites, A., Colton, M., and Lofgren, B. 2012. Temporal and Spatial Variability of Great Lakes Ice Cover, 1973-2010. J. of Climate, American Meteorological Society, 25: 1318-1329.

Winder, M., and Shindler, D.E. 2004. Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem. Ecology 85: 2100-2106.

Xenopoulos, M.A., Lodge, D.M., Alcamo, J., Märker, M., Schulze, K., and Van Vuuren, D.P. 2005. Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. Glob. Change Biol. 11: 1557-1564.

Zhang, X., Harvey, K.D., Hogg, W.D., and Yuzyk, T.R. 2001. Trends in Canadian streamflow. Water Resour. Res. 37: 987-998.

Zhang, X.B., Vincent, L.A., Hogg, W.D., and Niitsoo, A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. Atmosphere-Ocean 38(3): 395-429.

Annexe 1

Tableau récapitulatif des tendances et prévisions établies pour le grand bassin aquatique d'eau douce dans le cadre de l'évaluation préliminaire des risques effectuée par le Programme des services d'adaptation aux changements climatiques en milieu aquatique pour Pêches et Océans. Tendances et prévisions concernant les eaux douces du Secteur des Prairies et du bassin des Grands Lacs.

Variable climatique	**Tendances (des 50 dernières années environ)**	**Prévisions (50 prochaines années environ)** ***Le futur et le conditionnel représentent la probabilité d'occurrence – voir tableau ci-dessous***
Température moyenne de l'air	Les températures annuelles ont augmenté entre 1970 et 2000 de plus de 0,4 °C par décennie, l'augmentation hivernale atteignant 0,9 °C par décennie. En effet, les températures ont plus augmenté en hiver qu'aux autres saisons.	Les températures annuelles de toutes les saisons connaîtront une hausse allant de 0,8 à 5,4 °C. L'augmentation sera plus élevée en hiver qu'en été. Les températures minimales augmenteront plus rapidement que les températures maximales.
Moyenne de la température superficielle de l'eau	Les températures superficielles de l'eau libre ont augmenté légèrement du début des années 1900 à aujourd'hui (de 0,1 à 0.2 °C par décennie) et plus brusquement pendant les dernières décennies (1,2 °C par décennie depuis 1985). Peu d'études sont disponibles pour le bassin versant du lac Winnipeg.	Les températures superficielles de l'eau s'élèveront de 1,5 à 4,0 °C. Pendant la stratification estivale, la température de l'épilimnion pourrait augmenter d'environ 1,5 à 4,0 °C, mais celle de l'hypolimnion n'augmenterait pas nécessairement.
Stratification des lacs	Les analyses des tendances du bassin versant du lac Winnipeg sont peu nombreuses. Pour les lacs boréaux, les périodes sèches ont été associées à des couches de thermocline plus profondes. Le début de la stratification dans les lacs Supérieur, Michigan et Huron a avancé de 0,5 à 0,8 jour par an pendant la période allant de 1979 à 2010. Les données sont limitées pour les lacs Ontario et Érié.	La profondeur de la thermocline diminuerait. La durée et le degré de la stratification estivale augmenteraient.
Dynamique des glaces	En général, une débâcle précoce et un englacement tardif (modification de 0,6 jour par décennie de 1846 à 1995 et un changement plus brusque de 2,1 à 2,4 jours par décennie de 1969 à 2012) ont réduit la période de couverture de glace. Dans les Grands Lacs, le dernier gel printanier se produit une semaine plus tôt qu'en 1900. Aucune tendance n'a été observée dans le lac Winnipeg. L'épaisseur de la glace a diminué dans certains Grands Lacs, mais aucune tendance n'a été observée pour certains lacs boréaux.	La débâcle se produira plus tôt (de 1 à 25 jours), l'englacement reculera (de 1 à 17 jours), ce qui réduira la période de couverture de glace. Les Grands Lacs seront l'exception à la règle, puisque la débâcle devrait avancer seulement de 1 à 2 jours. Au total, l'épaisseur de la couverture de glace devrait diminuer de 1 à 25 cm.
Ruissellement annuel	Aucune analyse de tendances disponible.	Le ruissellement printanier devrait augmenter et se produire plus tôt. Le ruissellement annuel diminuerait.

Variable climatique	Tendances (des 50 dernières années environ)	Prévisions (50 prochaines années environ) *Le futur et le conditionnel représentent la probabilité d'occurrence – voir tableau ci-dessous*
Précipitations annuelles et tempêtes	Les précipitations annuelles moyennes ont augmenté dans toutes les régions, sauf le sous-bassin de la rivière Saskatchewan. La fréquence des pluies fortes et des cyclones a augmenté dans les Grands Lacs.	Augmentation générale des précipitations annuelles de 3 à 18 %. Les prévisions sont plus incertaines pour le sous-bassin de la rivière Saskatchewan (en effet, une augmentation et une diminution ont été prévues). Les précipitations enregistrées devraient être plus importantes en hiver qu'en été. Le type de précipitations sera modifié (p. ex., plus de pluies hivernales et moins de neige). Il est prévu que les précipitations soient moins fréquentes, mais plus fortes ou avec un plus grand nombre d'événements météorologiques extrêmes.
Débit fluvial	Le débit fluvial moyen a augmenté au sud et à l'est du lac Winnipeg et diminué dans le sous-bassin de la rivière Saskatchewan (-1,4 à -16 % par décennie). Le débit fluvial maximal est enregistré plus tôt. Peu d'études sont disponibles pour le bassin versant des Grands Lacs.	Le débit fluvial annuel devrait diminuer dans le bassin versant des Grands Lacs et se maintenir ou augmenter dans celui du lac Winnipeg. En été, le débit fluvial du sous-bassin de la rivière Saskatchewan pourrait connaître une baisse atteignant 50 %. Globalement, les prévisions disponibles sont limitées.
Fréquence des crues	Il se peut que la fréquence des crues ait augmenté dans le bassin de la rivière Rouge (2 entre 1892 et 1945 contre 11 entre 1945 et 1999).	Aucune prévision disponible. [Voir Précipitations/tempêtes]
Niveaux des lacs	Les niveaux des lacs varient considérablement. Les Grands Lacs ont connu trois décennies de niveaux d'eau élevés jusqu'aux années 1990. Depuis 1997, les niveaux d'eau du lac Michigan et du lac Huron ont baissé de 1,07 m et un seuil record a été enregistré dans le lac Érié à la fin des années 1990. Les niveaux les plus hauts et les plus bas de l'hydrogramme du lac Ontario et du lac Érié sont enregistrés un mois plus tôt. Diminution des niveaux dans lacs en bassin fermé dans le sous-bassin de la rivière Saskatchewan.	Le niveau des lacs est variable, mais largement tributaire de leur alimentation et des modifications de la régulation. Des baisses annuelles moyennes légères à modérées sont prévues pour Les Grands Lacs, particulièrement le lac Érié (les prévisions ne tiennent pas compte des cycles saisonniers). Les pics et les creux saisonniers se produiront plus tôt. Le niveau des lacs en bassin fermé devrait baisser.
Vent	La vitesse annuelle moyenne du vent a légèrement baissé. Aucune analyse de la fréquence et de l'ampleur des événements extrêmes n'est disponible (p. ex., ondes de tempête).	Aucune prévision disponible pour les événements extrêmes. [Voir Précipitations/tempêtes]
Évaporation	Tendance à la hausse de l'évaporation.	L'évaporation devrait augmenter en raison de la hausse des températures et de la diminution de la couverture de glace.

Variable climatique	Tendances (des 50 dernières années environ)	Prévisions (50 prochaines années environ) *Le futur et le conditionnel représentent la probabilité d'occurrence – voir tableau ci-dessous*
Charge en nutriments	La concentration en phosphore a baissé dans tous les bassins versants des Grands Lacs. En revanche, elle a augmenté dans le lac Winnipeg, à partir des sous-bassins de la rivière Rouge et de la rivière Assiniboine, depuis les années 1970. [Avertissement : Une partie de la charge en nutriments est due à l'accroissement du ruissellement et aux modifications de l'utilisation des terres.]	Devrait diminuer dans le bassin versant des Grands Lacs (probablement en raison des pratiques agricoles et de la rétention) et devrait augmenter dans les sous-bassins de la rivière Rouge et de la rivière Assiniboine (+ 5 % de phosphore total et + 33 % d'azote total).
Concentration d'oxygène dissous hypolimnique	A diminué dans certains systèmes. Les données disponibles sont limitées. Une partie des changements est probablement liée au changement d'état trophique.	Pendant la saison d'eau libre, les concentrations d'oxygène hypolimnique devraient diminuer en raison de la durée plus longue de la stratification, alors que l'inverse se produira pendant la saison de couverture de glace. Dans certains systèmes, les charges accrues en nutriments pourraient accentuer la diminution des concentrations d'oxygène dissous.
Salinité	Aucune augmentation de la salinité dans le sous-bassin de la rivière Saskatchewan. Non valable pour la région des Grands Lacs.	Aucune prévision disponible.

**Toute l'information du tableau récapitulatif des tendances et des prévisions s'appuie sur des publications à comité de lecture.

Remarques :

- Les prévisions pour l'échelle temporelle de 10 ans ne sont pas indiquées (mais elles sont disponibles). La variabilité interannuelle et décennale devrait être un facteur plus important des caractéristiques climatiques et limnologiques à court terme. En général, l'information sur les tendances serait plus pertinente pour déterminer l'orientation du changement de la plupart des variables à court terme.
- Toutes les eaux douces du Canada ne sont pas prises en considération dans la présente évaluation. De plus, il manque des renseignements sur certaines variables, des lacs intérieurs régionaux, des bassins versants secondaires et tertiaires et des chenaux de jonction.
- Les interventions et les impacts anthropiques continus ne sont pas représentés dans les prévisions estimées, mis à part ceux prévus dans les scénarios du GIEC (2007).
- La récapitulation de ces documents comporte plusieurs lacunes, notamment sur le rayonnement solaire, l'albédo, les processus côtiers, les contaminants et l'acidification, la limpidité de l'eau, l'eau souterraine, le pergélisol et les pertes d'eau des glaciers ainsi que leurs répercussions sur les tendances et les prévisions.

Définitions

Automne : moyenne des conditions météorologiques de septembre, octobre et novembre.

Débit : (écoulement fluvial et débit) exprimé en volume d'eau par unité de temps.

Été : moyenne des conditions météorologiques de juin, juillet et août.

Événement météorologique extrême : état de l'atmosphère dont l'échelle ou l'intensité sont suffisamment grandes pour qu'il soit susceptible de causer des dommages aux habitats et à l'infrastructure.

Hiver : moyenne des conditions météorologiques de décembre, janvier et février.

Printemps : moyenne des conditions météorologiques de mars, avril et mai.

Terminologie normalisée utilisée dans le résumé pour définir la probabilité d'un résultat quand elle pouvait être estimée (adaptée de GIEC 2007). (Les degrés supérieurs de probabilité définis par le GIEC ne sont pas distingués dans la présente analyse.)

Terminologie	Terminologie de probabilité du GIEC	Probabilité de l'événement ou du résultat
Verbe au futur	Extrêmement probable	Probabilité supérieure à 95 %
Verbe au futur	Très probable	Probabilité supérieure à 90 %
Verbe au futur	Probable	Probabilité supérieure à 66 %
Verbe au conditionnel	Plus probable qu'improbable	Probabilité supérieure à 50 %
Verbe au conditionnel	Autant probable qu'improbable	Probabilité de 33 à 66 %
Verbe au conditionnel à la forme négative	Improbable	Probabilité inférieure à 33 %
Verbe au futur à la forme négative	Très improbable	Probabilité inférieure à 10 %
	Indéterminé	Impossible de définir la probabilité

* Les événements improbables ou très improbables n'ont pas été indiqués dans le présent résumé.

Hypothèses préliminaires des tendances et prévisions et des impacts, vulnérabilités et opportunités

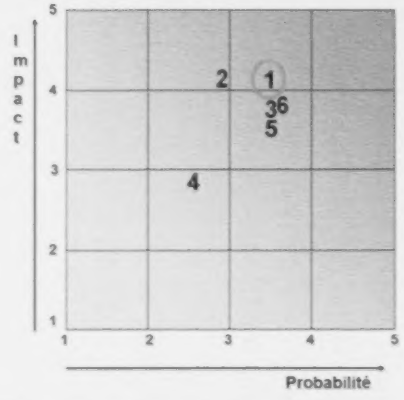
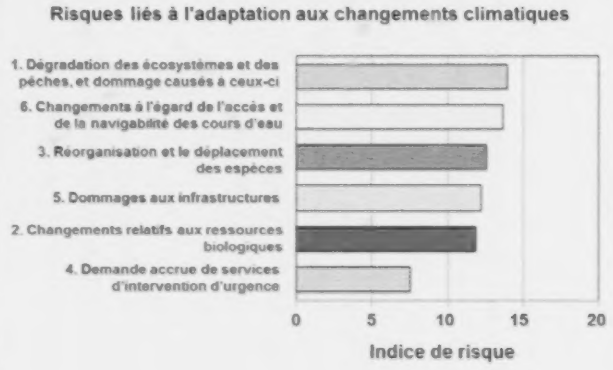
- Les tendances et les prévisions ont été données en moyenne ou par aire de répartition pour permettre une analyse globale des eaux douces de tout le grand bassin aquatique, ce qui donne une représentation inexacte des aires de répartition et de la variabilité des données.
- L'adaptation et l'intervention humaines ne sont pas prises en compte dans l'évaluation des risques et la planification.
- L'ampleur et l'impact de la pêche autochtone et des pratiques aquacoles ne sont pas connus.
- Les effets cumulatifs et l'augmentation des agents de stress (y compris ceux du climat) et leurs interactions ne sont pas traités dans la présente évaluation.

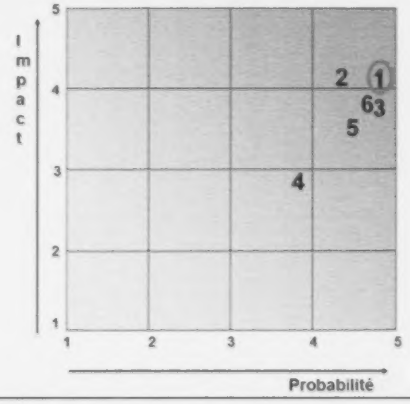
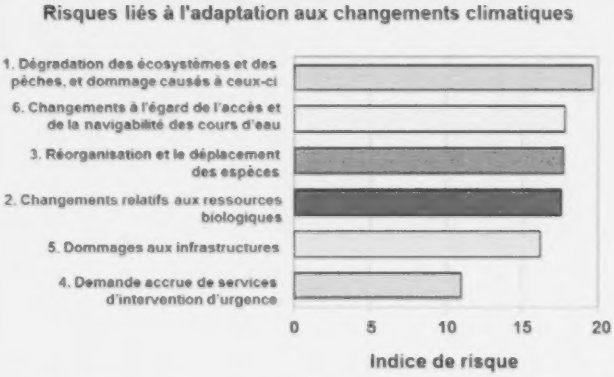
Annexe 2

Feuille de résumé des risques de dégradation des écosystèmes et des pêches et de dommages causés à ceux-ci (risque 1) pour le grand bassin aquatique d'eau douce.

Il faut noter que, dans le tableau, aucune correspondance directe n'est établie entre les facteurs de risque (partie gauche du tableau) et les conséquences (partie droite). Les lettres correspondent aux sous-bassins selon le code indiqué plus bas.

Grand bassin aquatique d'eau douce
Risque 1 : Dégradation des écosystèmes et des pêches, et dommages causés à ceux-ci
Énoncé du risque : Les changements climatiques risquent d'avoir un impact sur la capacité du MPO à atteindre ses objectifs stratégiques en matière de gestion des océans, de développement durable et de gestion intégrée des ressources du milieu aquatique du Canada.
Contexte : Ce risque concerne le rôle de gouvernance du MPO dans la gestion et la protection des habitats du poisson, son rôle de chef de file dans la Stratégie sur les océans du Canada et dans le maintien de la durabilité des océans et de leurs ressources (les lois habilitantes sont la *Loi sur les océans* et la *Loi sur les pêches*).

Position sur la carte des points chauds – horizon de 10 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 10 ans**
	

Position sur la carte des points chauds – horizon de 50 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 50 ans**
	

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
▪ L'augmentation de la durée et du degré de stratification, ainsi que la modification de la profondeur de la thermocline pourraient affecter la production primaire en agissant sur la lumière et la disponibilité de nourriture. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation des températures, de la production primaire ainsi que du degré et de la durée de stratification réduiront les concentrations d'oxygène en eaux profondes pendant la saison d'eau libre dans certains systèmes hydrographiques. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation ou la poursuite d'événements de fortes précipitations ou d'événements météorologiques extrêmes maintiendront ou augmenteront la charge en nutriments et les concentrations de contaminants. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température de l'eau, des précipitations et de la charge en nutriments accroît le risque de prolifération d'algues bleu-vert. (GL, RS, LW) ▪ L'allongement de la saison de croissance et l'élévation de la température de l'eau font augmenter la production primaire et secondaire, ainsi que la croissance et la production halieutique. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de l'évaporation et la diminution des précipitations accroîtront la salinité des lacs en bassin fermé dans les Prairies, ce qui modifiera les habitats propices pour les poissons. (RS-12). ▪ L'augmentation de la température de l'eau accroît la mortalité des poissons adultes d'eau chaude et des œufs, particulièrement pour les espèces se reproduisant au printemps et en été. (GL, RWB, RS, LW) ▪ La modification des périodes et date de formation des glaces et de déglacement ainsi que le changement de la dynamique du débit des cours d'eau augmentent le risque de perturbation des indices de frai, de modification des périodes de frai et de diminution du taux de réussite de la reproduction. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Les changements de calendrier d'évènements au cours des saisons du printemps et de l'automne causeraient une asynchronie de la dynamique prédateurs-proies (besoins des prédateurs et disponibilité des proies). (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température, de la production primaire et de la durée de la saison de croissance conduiront à une augmentation potentielle de l'aire	▪ L'augmentation des concentrations de nutriments accroît la probabilité de modification de la production primaire pélagique et de diminution de la production primaire benthique. Ceci affecterait les flux d'énergie entre les producteurs primaires et les poissons. ▪ La hausse des températures de l'eau et de la charge en contaminants augmente la possibilité d'altération des écosystèmes aquatiques et d'augmentation de la charge corporelle en contaminants des poissons. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Les changements possibles des proliférations d'algues bleu-vert nocives auraient des répercussions nuisibles sur la production secondaire. ▪ Selon les préférences thermiques de leur guilde, la productivité des poissons pourrait être lésée (p. ex., espèces d'eau froide). ▪ La baisse des concentrations d'oxygène dissous en eaux profondes augmenterait la fréquence de mortalité massive estivale dans les lacs stratifiés peu profonds. ▪ L'augmentation de la productivité primaire contribuerait à la réduction des concentrations d'oxygène dissous en eaux profondes dans les systèmes stratifiés par la hausse de la matière organique disponible dans les processus de décomposition. ▪ L'augmentation de la température de l'eau accroîtrait la présence d'agents pathogènes et de parasites. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la salinité dans les lacs en bassin fermé des Prairies pourrait diminuer l'abondance et la diversité et modifier la composition des communautés de poissons. ▪ Augmentation des demandes de reconstruction de lignes de côte après des tempêtes transmises à la Protection des pêches (Gestion de l'habitat du poisson). ▪ Augmentation des besoins de gestion et de réglementation pour gérer les risques des entreprises aquacoles (p. ex., évaluations de l'emplacement des cages en fonction du système en question). ▪ Modifications de la composition et de la structure des communautés de poissons. Les zones humides et les systèmes côtiers seraient plus sujets à la dégradation en raison de la charge en nutriments et en contaminants et de

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
de répartition la plus au nord des poissons d'eau chaude. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température, de la production primaire et de la durée de la saison de croissance conduiront à une réduction de l'habitat des espèces d'eau froide et tempérée dans la partie méridionale de leur aire de répartition. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température accroîtra l'aire d'expansion des espèces non indigènes actuelles et l'invasion par de nouvelles espèces. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Les diminutions prévues du débit estival des cours d'eau (particulièrement dans les rivières des Prairies) et des niveaux d'eau limitent la possibilité de maintien de la norme de débit minimal et augmentent le risque de baisse de la qualité de l'habitat du poisson et des zones humides (élevage, sources de nourriture et connectivité des habitats propices) ainsi que la probabilité de débit extrêmement faible ou nul. (RS) ▪ L'augmentation des températures et la diminution des concentrations d'oxygène dissous en eaux profondes modifieront la structure des communautés, la répartition des espèces indigènes et envahissantes, les interactions du réseau trophique et la diversité. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température de l'eau et la diminution des concentrations d'oxygène et des niveaux d'eau affecteraient la connectivité, les migrations et l'habitat des poissons. (GL, RWB, RS, LW)	la baisse des niveaux d'eau. ▪ Diminution de la taille à tous les niveaux trophiques. ▪ Le raccourcissement de l'hiver aurait un impact nuisible sur le recrutement de reproducteurs à l'automne. ▪ Modification de l'habitat causée par tous les facteurs. ▪ Les changements de la phénologie auraient un impact sur les réseaux trophiques et la productivité halieutique.

Opportunités
▪ Le raccourcissement de la saison des glaces conduit à une diminution de la mortalité massive hivernale dans les petits lacs des Prairies. (RS) ▪ L'allongement des saisons de croissance augmentera la survie des juvéniles des poissons d'eau chaude en hiver. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Augmentation de l'aire et des types de l'aquaculture et de la pêche commerciale, récréative et autochtone. ▪ En raison de l'augmentation de la croissance et de la survie des poissons d'eau chaude ainsi que de l'expansion de la production de ces derniers vers le nord, il existe une possibilité de développement de nouvelles activités de pêche commerciale et d'aquaculture. ▪ Hausse globale de la productivité des pêches en eau tempérée et chaude (p. ex., doré jaune dans le LW).

Lacunes
▪ Certains programmes de recherche sur le climat ont été arrêtés en raison de la stagnation de la recherche et des données décrivant les interactions entre le climat et la pêche ▪ Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer les connaissances et la capacité à prévoir les tendances des précipitations à court et à long terme, l'hydrodynamique des cours d'eau, y

Lacunes
compris les tendances et les prévisions des glaces et de la norme de débit minimal. Il faut une prévision d'ensemble des précipitations pour optimiser les compétences de prévision et réduire l'échelle des prévisions de sorte que la basse résolution soit celle d'un sous-bassin versant.
▪ Difficulté de la compilation de données à partir d'une analyse documentaire pour représenter des renseignements factuels (ressources parfois limitées, connaissances limitées des processus et des modèles utilisés, âge des données, etc.).
▪ Il y a des lacunes en matière de modélisation des changements de l'habitat et des risques écologiques connexes (mode et lieu de modification de la composition et de la production des espèces).
▪ Les effets de différents agents de stress, des interactions et des facteurs cumulatifs ne sont pas suffisamment connus et devraient être examinés.
▪ Souvent, les changements des tendances ne tiennent pas compte des extrêmes et de la variabilité. Or, les événements extrêmes seront très importants pour les risques écosystémiques.
▪ Prévisions limitées du débit et du ruissellement des cours d'eau.
▪ Les tendances et les prévisions sont soit insuffisantes, soit inexistantes pour les charges en nutriments et en contaminants. On sait par exemple très peu de choses sur le lien entre précipitations, ruissellement et concentrations de contaminants.
▪ L'adaptation et l'intervention humaines ne sont pas prises en compte dans l'évaluation des risques et la planification.
▪ Alors que les écosystèmes du bassin des Grands Lacs et de la région des Prairies sont quelque peu différents, ils ont été rassemblés dans un même bassin général.
▪ Il est nécessaire de mieux comprendre les seuils environnementaux critiques et les changements hydrologiques brusques.
▪ Les données quantitatives disponibles sur la relation entre les changements climatiques et les espèces aquatiques envahissantes dans le grand bassin aquatique d'eau douce sont insuffisantes.
▪ La relation entre changements climatiques et modifications brusques de la qualité de l'eau est mal comprise.
▪ Les impacts sur certaines zones protégées et zones humides côtières d'importance écologique sont difficiles à prévoir et ne sont pas pris en compte alors qu'il le faudrait.
▪ Connaissances limitées sur les flux d'énergie benthiques et pélagiques.
▪ La plupart des études portent sur les zones au large des côtes, alors que les impacts sur les côtes sont extrêmement importants et doivent être traités.
▪ En général, les impacts sur les pêches autochtones sont inconnus. Il se peut que de l'information sur le Saint-Laurent et le Québec existe, mais elle a été difficile à obtenir.
▪ Le lien entre les changements climatiques et l'aquaculture n'est pas clair et demeure non défini.
▪ Connaissances insuffisantes sur les tempêtes, les inondations et d'autres événements extrêmes (prévisions et impacts).
▪ Faible compréhension du lien entre les phénomènes violents et leur impact terrestre d'un côté et les systèmes aquatiques de l'autre.
▪ Il manque des renseignements précis et plus que nécessaires sur les tendances et les prévisions des processus côtiers et fluviaux.

Code pour sous-bassins

LW – Lac Winnipeg

RWB – Rivière Winnipeg et sous-bassin boréal

GL – Grands Lacs

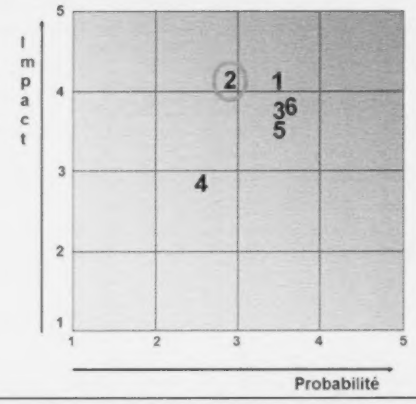
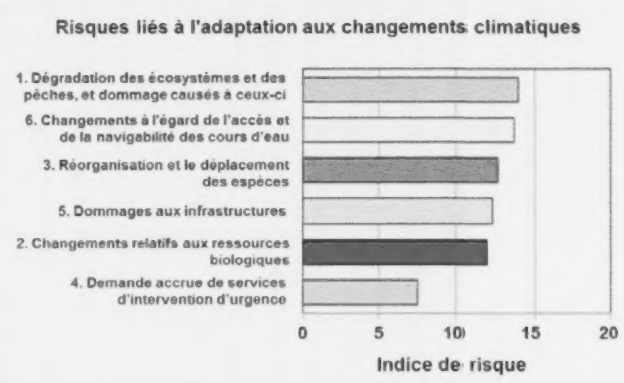
RS – Bassin de la rivière Saskatchewan

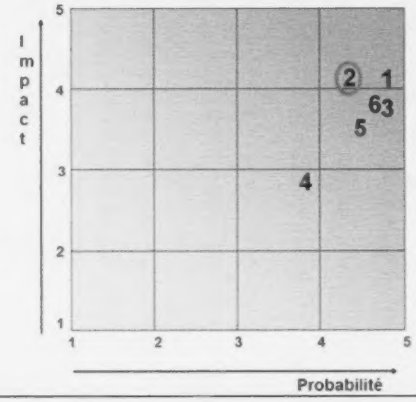
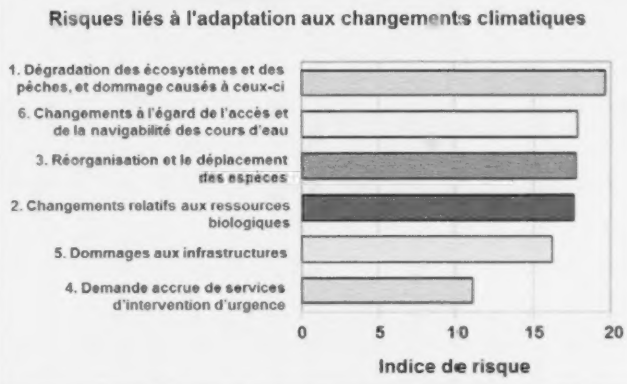
Annexe 3

Feuille de résumé des risques des changements relatifs aux ressources biologiques (risque 2) pour le grand bassin aquatique d'eau douce

Il faut noter que, dans le tableau, aucune correspondance directe n'est établie entre les facteurs de risque (partie gauche du tableau) et les conséquences (partie droite). Les lettres correspondent aux sous-bassins selon le code indiqué plus bas.

Grand bassin aquatique d'eau douce
Risque 2 : Changements relatifs aux ressources biologiques
Énoncé du risque : Les changements climatiques risquent d'avoir un impact sur la capacité du MPO à gérer et à assurer la distribution et la qualité des stocks de produits de la pêche et de l'aquaculture, de même qu'à en protéger l'abondance.
Contexte : Ce risque concerne la gestion des ressources halieutiques par le MPO (stocks de poissons, mollusques et mammifères marins) (la loi habilitante est la *Loi sur les pêches*).

Position sur la carte des points chauds – horizon de 10 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 10 ans**
	

Position sur la carte des points chauds – horizon de 50 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 50 ans**
	

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
▪ La modification de la durée et du degré de stratification ainsi que de la profondeur de la thermocline augmente le risque de limitation de la disponibilité d'habitat (GL, RWB, RS, LW) et pourrait se répercuter sur la production primaire par le changement de lumière et de disponibilité de nutriments (GL, RWB, RS, LW). ▪ L'augmentation de la température de l'eau et de l'eutrophisation augmentera les proliférations d'algues bleu-vert et la biomasse du phytoplancton, accroissant ainsi le risque de faibles concentrations d'oxygène dans les habitats des eaux profondes ou froides. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation ou la poursuite d'événements de fortes précipitations ou d'événements météorologiques extrêmes maintiendront ou augmenteront la charge en nutriments et les concentrations de contaminants. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'allongement de la saison de croissance et l'élévation de la température de l'eau font augmenter la production primaire et secondaire, ainsi que la croissance et la production des poissons d'eau tempérée et chaude (p. ex., doré jaune, achigan). (GL, RWB, RS, LW) ▪ La modification des périodes et dates de formation des glaces et de déglacement ainsi que le changement de la dynamique du débit des cours d'eau augmentent le risque de perturbation des indices de frai, de modification des périodes de frai et de diminution de la reproduction (p. ex., doré jaune, brochet, esturgeon). (GL, RWB, RS, LW) ▪ Les changements de calendrier d'évènements au cours des saisons du printemps et de l'automne causeraient une asynchronie de la dynamique prédateurs-proies (besoins des prédateurs et disponibilité des proies). (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température de l'eau et de la durée des saisons de croissance accroîtra d'un côté le taux de croissance des poissons d'eau chaude et de l'autre la mortalité des espèces d'eau froide et tempérée si les seuils thermiques sont atteints. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Le changement de température, la baisse du niveau des eaux souterraines, l'oxygène dissous et la période de stratification auront des répercussions plus grandes sur les cours d'eau et les lacs peu profonds (p. ex., omble de fontaine, touladi). ▪ L'augmentation de la température de l'eau fait augmenter la mortalité des adultes des espèces d'eau chaude. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de l'évaporation et la diminution des	▪ L'augmentation de la production primaire, ainsi que du degré et de la durée de la stratification, conduira à une diminution des concentrations d'oxygène dissous. (GL, RWB, RS, LW) ▪ La hausse des températures de l'eau et de la charge en contaminants augmente la possibilité d'altération des écosystèmes aquatiques et d'augmentation de la charge corporelle en contaminants des poissons. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température de l'eau accroîtrait la présence d'agents pathogènes et de parasites. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Perturbation des réseaux trophiques en raison d'effets en cascade. ▪ L'aire de répartition des poissons d'eau froide se déplacera ou se réduira vers le nord (en raison de la hausse de la température de l'eau). ▪ Diminution de la taille selon l'âge des poissons en raison de la hausse des températures. ▪ Nécessité de porter une attention accrue aux normes de débit minimal, particulièrement pour les évaluations environnementales de la région des Prairies. ▪ La réduction de la couverture de glace modifiera la répartition des pêches hivernales. ▪ Diminution de l'habitat des espèces d'eau tempérée et froide et des espèces côtières. ▪ La réduction de la couverture de glace diminuera les activités de pêche hivernale. ▪ La modification des communautés de poissons augmentera l'eutrophisation. ▪ Modification des types de pêches et des comportements des pêcheurs. ▪ Une diminution de la productivité des pêches serait possible en raison de l'asynchronie prédateurs-proies. ▪ Des dérivations structurelles modifieraient les migrations des poissons et causeraient leur déplacement. ▪ La contamination par le mercure affectera la quantité de poisson exploitable.

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
précipitations accroîtront la salinité des lacs en bassin fermé dans les Prairies, ce qui modifiera les habitats propices pour les poissons (p. ex., doré jaune et truite arc-en-ciel). (RS) ▪ L'augmentation de la température, de la production primaire et de la durée de la saison de croissance conduira à une augmentation de l'aire de répartition potentielle la plus au nord des poissons d'eau chaude. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température, de la production primaire et de la durée de la saison de croissance conduira à une réduction de l'habitat des espèces d'eau froide et tempérée dans la partie méridionale de leur aire de répartition (p. ex., corégone, touladi). (GL, RWB, RS, LW) ▪ Les diminutions prévues du débit estival des cours d'eau (particulièrement dans les rivières de l'ouest des Prairies) et des niveaux d'eau limitent la possibilité de maintien de la norme de débit minimal et augmentent le risque de baisse de la qualité de l'habitat du poisson et des zones humides (élevage, sources de nourriture et connectivité des habitats propices) ainsi que la probabilité de débit extrêmement faible ou nul. (RS) ▪ L'augmentation des températures et la diminution des concentrations d'oxygène dissous en eaux profondes modifieront la structure des communautés, la répartition des espèces indigènes et envahissantes, les interactions du réseau trophique et la diversité. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température accroîtra l'aire d'expansion des espèces non indigènes actuelles et l'invasion par de nouvelles espèces. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température de l'eau et la diminution des concentrations d'oxygène et des niveaux d'eau affecteraient la connectivité des habitats des poissons, les migrations ainsi que l'utilisation de l'habitat et sa disponibilité. (GL, RWB, RS, LW) ▪ La diminution de la couverture de glace, l'augmentation de la fréquence des tempêtes et les modifications de ruissellement affecteront les processus fluviaux et côtiers, ce qui altérera l'habitat du poisson.	▪ L'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des tempêtes augmentera les risques de dommages aux cages utilisées en aquaculture et l'incidence de fugitifs non indigènes. ▪ La modification des lignes de côte et de l'habitat auront des effets sur la production des pêches.

Opportunités
▪ Le raccourcissement de la saison des glaces conduirait à une diminution de la mortalité massive hivernale dans les petits lacs des Prairies. (RS) ▪ L'allongement de la saison de croissance et l'élévation de la température de l'eau augmenteraient la production primaire et secondaire, ainsi que la croissance et la production des poissons d'eau tempérée et chaude (p. ex., doré jaune, achigan à petite bouche, crapet arlequin, perchaude). ▪ Augmentation de l'aire et des types d'aquaculture et de pêche commerciale, récréative et autochtone. ▪ La réduction de la couverture de glace diminue les activités de pêche hivernale des espèces vulnérables d'eau froide. ▪ En raison de l'accroissement de l'aire de répartition des espèces et de l'allongement des saisons de croissance, il existe une possibilité de développement de nouvelles activités de pêche commerciale, récréative et autochtone et d'aquaculture. ▪ Augmentation globale de la productivité et de l'aire de répartition des poissons d'eau chaude. ▪ L'augmentation de la salinité dans certains lacs en bassin fermé augmente les possibilités de pêche à l'artémie.

Lacunes
▪ Les effets des différents agents de stress, des interactions et des facteurs cumulatifs ne sont pas suffisamment connus. ▪ Souvent, les changements des tendances ne tiennent pas compte des extrêmes et de la variabilité. Or, les événements extrêmes seront très importants pour la survie des poissons. ▪ L'impact des changements de la charge en nutriments et en contaminants sur la norme de débit minimal est mal compris. ▪ L'adaptation et l'intervention humaines ne sont pas prises en compte dans l'évaluation des risques et la planification. ▪ Bien que les pêches, les espèces aquatiques envahissantes et les espèces protégées du bassin des Grands Lacs et de la région des Prairies soient très différentes, elles ont été compilées dans un même grand groupe général. ▪ Il est nécessaire d'améliorer la compréhension des seuils critiques (thermiques, physiologiques, habitat) pour les poissons. ▪ Certaines zones humides particulières et locales ne sont pas prises en compte, pas plus que leur importance dans les cycles biologiques des ressources halieutiques. ▪ Connaissances insuffisantes sur les tendances de la productivité des pêches dans un climat en évolution. ▪ L'ampleur et l'impact de la pêche autochtone et des pratiques aquacoles ne sont pas connus. ▪ Les effets de l'aquaculture sur les systèmes hydrographiques intérieurs dans des scénarios de changement climatique sont largement inconnus. ▪ La toxicologie de l'impact des algues sur les poissons est inconnue. ▪ Nécessité d'une approche écosystémique complète en raison de la complexité des voies de passage.

Code pour sous-bassins

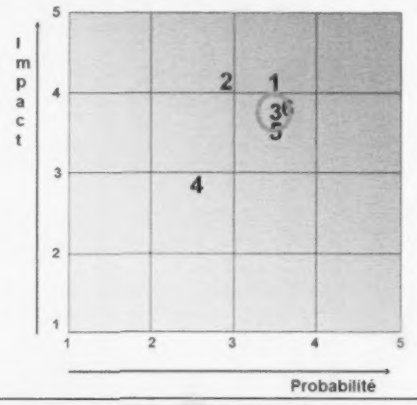
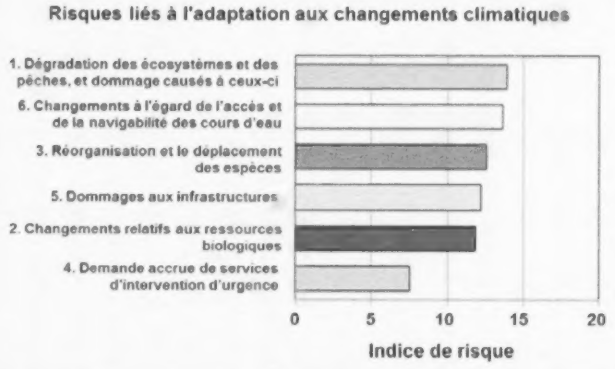
LW – Lac Winnipeg
RWB – Rivière Winnipeg et sous-bassin boréal
GL – Grands Lacs
RS – Bassin de la rivière Saskatchewan

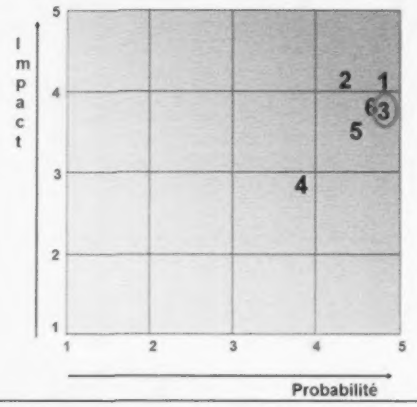
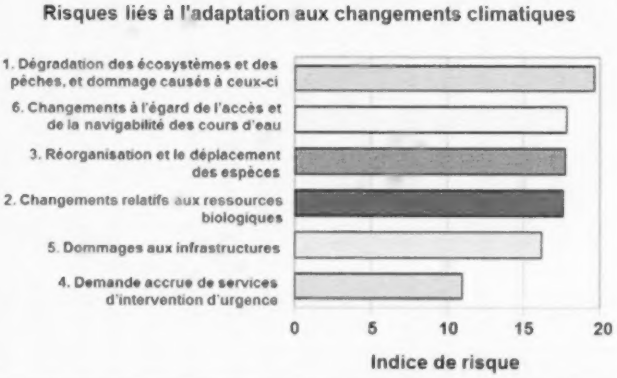
Annexe 4

Feuille de résumé des risques de réorganisation et déplacement des espèces (risque 3) pour le grand bassin aquatique d'eau douce

Il faut noter que, dans le tableau, aucune correspondance directe n'est établie entre les facteurs de risque (partie gauche du tableau) et les conséquences (partie droite). Les lettres correspondent aux sous-bassins selon le code indiqué plus bas.

Grand bassin aquatique d'eau douce
Risque 3 : Réorganisation et déplacement des espèces
Énoncé du risque : Les changements climatiques risquent d'avoir une incidence sur la capacité du MPO à préserver la diversité des espèces et à protéger les espèces en péril.
Contexte : Les changements climatiques peuvent donner lieu à des modifications de l'emplacement et du type des espèces dans les divers habitats aquatiques canadiens. Ils peuvent avoir pour effet de limiter ou d'étendre l'aire de répartition de certaines espèces aquatiques et de faciliter l'introduction ou la propagation d'espèces envahissantes (la loi habilitante est la *Loi sur les espèces en péril*).

Position sur la carte des points chauds – horizon de 10 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 10 ans**
	

Position sur la carte des points chauds – horizon de 50 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 50 ans**
	

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
▪ La modification de l'oxygène hypolimnique, de la durée et du degré de la stratification ainsi que de la profondeur de la thermocline augmente le risque de réduction de la disponibilité de l'habitat (p. ex., chabot d'eau profonde, cisco kiyi) (GL, RWB, RS, LW). ▪ L'augmentation de la température, de la production primaire et de la durée de la saison de croissance conduira à une augmentation de l'aire de répartition potentielle la plus au nord des poissons d'eau chaude. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température, de la production primaire et de la durée de la saison de croissance conduira à une réduction de l'habitat des espèces d'eau froide et tempérée dans la partie méridionale de leur aire de répartition (p. ex., méné camus, omble de fontaine). (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation des températures et la diminution des concentrations d'oxygène dissous en eaux profondes modifieront la structure des communautés, la répartition des espèces indigènes et envahissantes, les interactions du réseau trophique et la diversité. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la température de l'eau, la diminution de l'oxygène, la baisse des niveaux d'eau et les modifications du débit fluvial affecteraient la connectivité, les migrations et l'habitat du poisson (p. ex., esturgeon jaune, omble à tête plate). (GL, RWB, RS, LW) ▪ Les diminutions prévues du débit estival des cours d'eau (particulièrement dans les rivières des Prairies) et des niveaux d'eau limitent la possibilité de maintien de la norme de débit minimal et augmentent le risque de baisse de la qualité de l'habitat du poisson et des zones humides (élevage, sources de nourriture et connectivité des habitats propices) ainsi que la probabilité de débit extrêmement faible ou nul (p. ex., chabot du versant est). (RS) ▪ La dégradation des habitats, l'exploitation, la compétition et la connectivité possibles affecteraient certaines espèces en péril, qui occupent une aire de répartition limitée ou des niches thermiques (espèces d'eau tempérée ou froide comme le chabot des montagnes Rocheuses et la truite fardée versant de l'Ouest, qui sont menacées, ou l'esturgeon jaune dont le statut en cours d'examen pourrait passer à « en voie de disparition »). La biodiversité aquatique réagirait de façon nuisible à la diminution du débit fluvial et à la variabilité des régimes hydrauliques. ▪ L'augmentation des températures accroîtra l'appariement environnemental d'espèces aquatiques	▪ Diminution de l'habitat des espèces d'eau tempérée et froide et des espèces côtières. ▪ Simplification de la communauté ichtyenne indigène et réduction de la diversité. ▪ Demande accrue de lutte contre les espèces envahissantes (p. ex., lamproie marine). ▪ L'augmentation des températures et des périodes libres de glace conduisant à des activités commerciales et récréatives nouvelles ou modifiées (ainsi que d'autres vecteurs) faciliterait l'extension de l'aire de répartition des espèces aquatiques envahissantes. (GL, RWB, RS, LW)

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
envahissantes nouvelles et potentielles, ce qui augmente leur capacité à s'établir dans de nouveaux lieux situés plus au nord. ▪ Certaines espèces aquatiques envahissantes réagiraient de façon positive au réchauffement (p. ex., la carpe) ou à la modification des régimes hydrauliques (p. ex., la lamproie marine), augmentant leurs effets nuisibles sur les réseaux trophiques, le poisson et les pêches.	

Opportunités
▪ L'allongement des saisons de croissance et l'extension de l'aire de répartition du poisson agiraient sur le type de pêche commerciale, récréative et autochtone et profiteraient aux poissons d'élevage et à ceux capturés par des activités de pêche commerciale. ▪ Le réchauffement avantagerait l'aire de répartition ou l'abondance de certaines espèces en péril quand leur aire canadienne correspond à leur aire la plus au nord (p. ex., buffalo à grande bouche, méné à grandes écailles, tête carminée). ▪ Le réchauffement aurait des effets nuisibles sur certaines espèces aquatiques envahissantes, quand la température de leur habitat devient supérieure à leurs conditions thermiques (p. ex., dans la partie méridionale de l'aire de répartition de la lamproie marine et de l'éperlan arc-en-ciel).

Lacunes
▪ L'écologie et la biologie de certaines espèces en péril ou d'espèces dont l'inscription à la liste de la LEP est envisagée ne sont pas totalement comprises dans le contexte des changements climatiques. ▪ La biologie, le calendrier (date des évènements) et l'impact des nouvelles espèces envahissantes sont inconnus et difficiles à prévoir. ▪ Certains éléments démontrent que l'augmentation de la fréquence des tempêtes restructure l'habitat du poisson, mais on sait mal quel en est l'impact sur le déplacement et la réorganisation des espèces. ▪ L'intervention humaine, la planification de la gestion, le contrôle des espèces aquatiques envahissantes, l'empoissonnement, les modifications ou la progression des activités de pêche récréative et la réglementation ne sont pas pris en compte. ▪ Le changement des paramètres climatiques et de leurs conséquences intégrées sur les systèmes aquatiques sera plus rapide que les éventuelles réactions d'adaptation des systèmes. ▪ La vitesse des changements climatiques étant supérieure à la vitesse d'adaptation des écosystèmes, les capacités de prévision sont incertaines. ▪ Les impacts cumulés de plusieurs espèces aquatiques envahissantes et des changements climatiques sont incertains et les interactions causeraient des changements de régime sans précédent.

Codes pour sous-bassins

LW – Lac Winnipeg

RWB – Rivière Winnipeg et sous-bassin boréal

GL – Grands Lacs

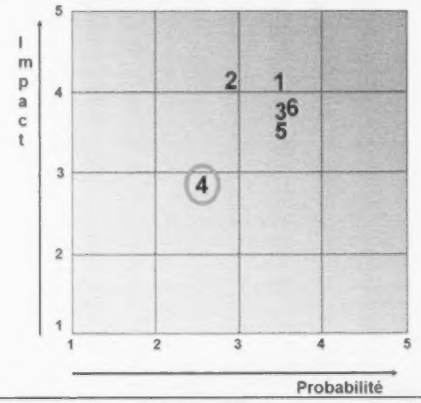
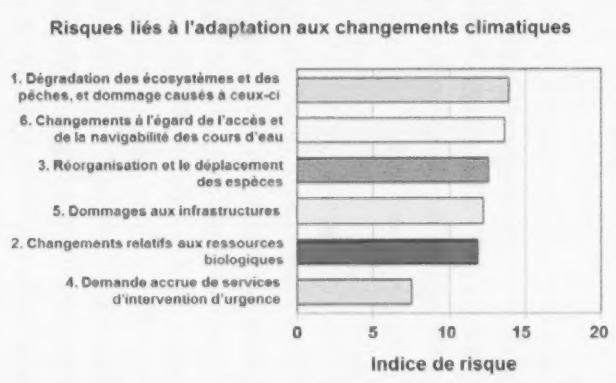
RS – Bassin de la rivière Saskatchewan

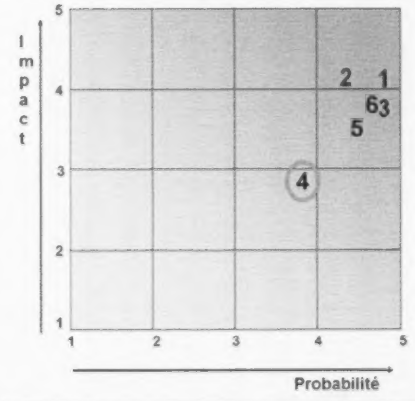
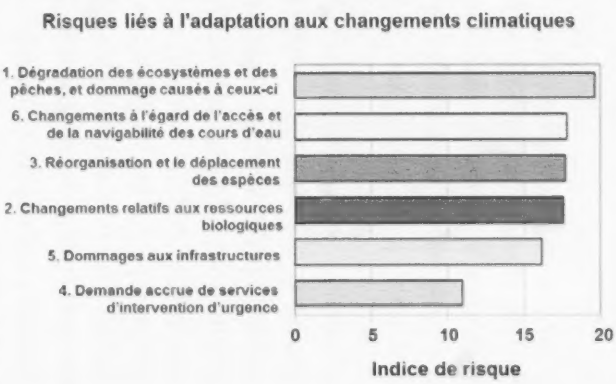
Annexe 5

Feuille de résumé des risques de demande accrue de services d'intervention d'urgence (risque 4) pour le grand bassin aquatique d'eau douce

Il faut noter que, dans le tableau, aucune correspondance directe n'est établie entre les facteurs de risque (partie gauche du tableau) et les conséquences (partie droite). Les lettres correspondent aux sous-bassins selon le code indiqué plus bas.

Grand bassin aquatique d'eau douce
Risque 4 : Demande accrue de services d'intervention d'urgence
Énoncé du risque : Les changements climatiques risquent d'avoir une incidence sur la capacité du MPO à assurer des niveaux acceptables d'activités d'intervention environnementale et de recherche et sauvetage.
Contexte : La prépondérance de ce risque tient à la possibilité d'un nombre accru d'incidents maritimes attribuables à des facteurs des changements climatiques, de même qu'à la contrainte que ceux-ci imposeront à la capacité d'intervention du MPO.

Position sur la carte des points chauds – horizon de 10 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 10 ans**
	

Position sur la carte des points chauds – horizon de 50 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 50 ans**
	

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
▪ L'allongement de la saison d'eau libre augmente l'intensité, la durée et l'étendue géographique de la circulation de navires. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Augmentation des activités de pêche en eau libre. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Le plus grand nombre de tempêtes accroît les besoins en recherche et sauvetage d'urgence. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Les tempêtes, les inondations et les événements météorologiques extrêmes sont source d'érosion et de sédimentation. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Des dangers sont causés par l'amincissement de la glace et les changements saisonniers intervenant dans la couverture de glace et l'épaisseur de cette dernière. (GL, RWB, RS, LW) ▪ La baisse de niveau des lacs présente des risques pour la navigation et la connectivité. (GL, RS)	▪ L'augmentation de l'étendue géographique de l'intervention d'urgence du MPO entraîne de plus grands besoins en matériel d'intervention d'urgence, en produits destinés à la navigation, en aides et en activités d'entretien des chenaux. ▪ Pertes de vie associées aux incidents. ▪ L'augmentation de la circulation de navires et du transport de marchandises combinée à la baisse des niveaux d'eau augmente les risques de déversement et d'autres problèmes environnementaux associés aux échouements.

Opportunités
▪ Les nouvelles menaces permettent de développer des technologies inédites et de faire des progrès pour répondre aux nouvelles exigences.

Lacunes
▪ Les prévisions des niveaux des lacs sont incertaines, mais ces derniers baisseront probablement sous la tendance moyenne à long terme. Les renseignements sur les bassins versants (rivières et lacs) des Grands Lacs à proprement parler et du sous-secteur des Prairies sont insuffisants. Il faut mettre à jour les données sur les Grands Lacs à partir de scénarios et de modèles récents. ▪ L'impact du développement de l'exploitation minière, pétrolière, gazière et hydroélectrique est inconnu, particulièrement dans le contexte des changements climatiques. ▪ L'incapacité à établir des prévisions exactes sur les tempêtes et les événements extrêmes influe sur la capacité à en évaluer l'impact. ▪ Le progrès technologique n'est pas pris en compte dans l'analyse des prévisions, des mesures d'atténuation et de l'adaptation.

Codes pour sous-bassins

LW – Lac Winnipeg

RWB – Rivière Winnipeg et sous-bassin boréal

GL – Grands Lacs

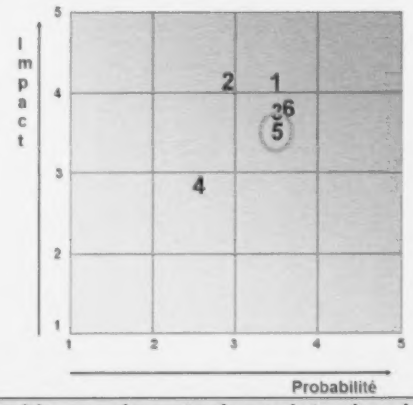
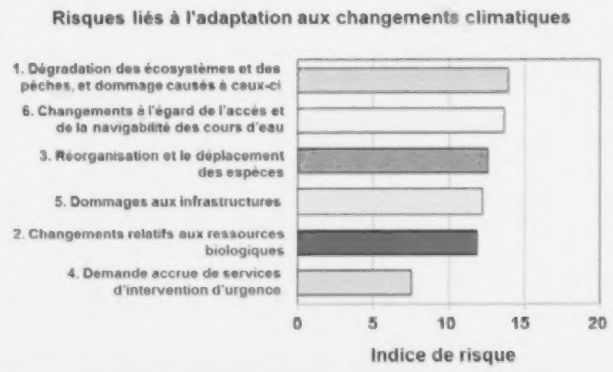
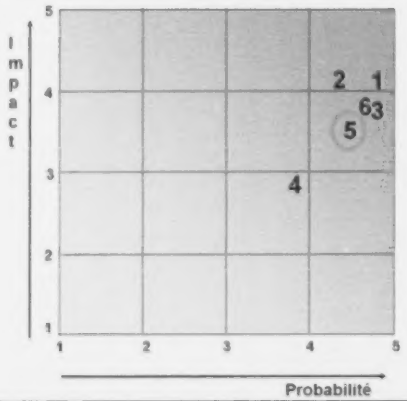
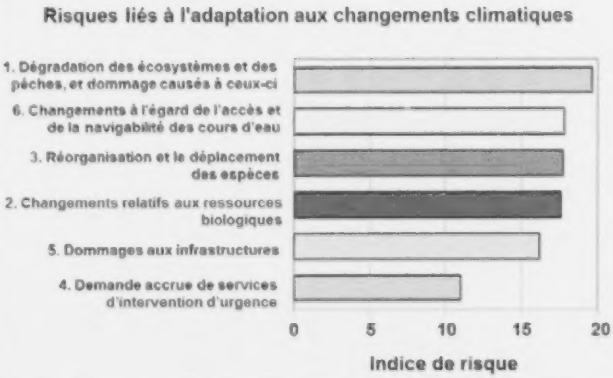
RS – Bassin de la rivière Saskatchewan

Annexe 6

Feuille de résumé des risques de dommages aux infrastructures (risques 5) pour le grand bassin aquatique d'eau douce

Il faut noter que, dans le tableau, aucune correspondance directe n'est établie entre les facteurs de risque (partie gauche du tableau) et les conséquences (partie droite). Les lettres correspondent aux sous-bassins selon le code indiqué plus bas.

Grand bassin aquatique d'eau douce
Risque 5 : Dommages aux infrastructures
Énoncé du risque : Les changements climatiques risquent de causer des dommages aux navires, aux infrastructures côtières et aux ports pour petits bateaux du MPO qui, par conséquent, devront être modifiés.
Contexte : Le MPO doit maintenir une infrastructure importante pour mener ses activités opérationnelles et scientifiques en milieu marin et en milieu d'eau douce (p. ex., des ports, des quais, des bases, des postes, des bouées, des cales, des bâtiments, des laboratoires, des phares, des aides à la navigation, des écloseries et des installations d'aquaculture du MPO).

Position sur la carte des points chauds – horizon de 10 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 10 ans**
	
Position sur la carte des points chauds – horizon de 50 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 50 ans**
	

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
▪ La diminution des niveaux d'eau et l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des tempêtes de vent (p. ex., ondes de tempête, cyclones) accroissent le risque d'érosion des lignes de côte, le mouvement des sédiments et les travaux de dragage nécessaires (fréquence, taille et coût) pour maintenir l'accès aux ports. ▪ La hausse des températures accroît le taux de corrosion et de dégradation de la matière et la diminution de la période de couverture de glace raccourcit la durée des activités de construction et d'entretien de certaines structures portuaires. ▪ La diminution de la couverture de glace augmente l'exposition de la navigation et des infrastructures aux tempêtes et aux événements météorologiques extrêmes. (GL, RWB, RS, LW) ▪ La modification des régimes hydrauliques, l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des crues printanières et la baisse des niveaux d'eau des lacs (p. ex., des Grands Lacs) accroissent le risque de dommages aux ports et aux autres infrastructures. (GL, RWB, RS, LW) ▪ Les fortes tempêtes et l'action des vagues (hauteur, fréquence des vagues extrêmes) augmentent les possibilités de dommages aux infrastructures et au matériel de pêche commerciale, récréative et autochtone (bateaux, engins de pêche, etc.). (GL, RWB, RS, LW) ▪ La baisse des niveaux d'eau réduirait l'accès aux jetées, aux ports et aux rampes de mise à l'eau. (GL, RWB, RS, LW) ▪ La baisse des niveaux d'eau assécherait les tuyaux de prise d'eau des stations hydrométriques, ce qui ferait peser des risques sur la mesure des niveaux d'eau. ▪ L'élévation épisodique des niveaux d'eau cause des inondations; les infrastructures deviendraient inaccessibles, endommagées ou érodées.	▪ Augmentation du coût de dragage autour des ports pour réparer les dommages physiques aux infrastructures. ▪ Diminution ou interruption des niveaux de service pour les utilisateurs des infrastructures (p. ex., ports : pêche commerciale, récréative et autochtone; stations de la Garde côtière : capacités de recherche et sauvetage). ▪ Des déplacements de ports pourraient être envisagés (très coûteux). La baisse des niveaux d'eau causerait une réduction de la capacité de chargement des navires. ▪ Les besoins en travaux de dragage d'entretien augmenteraient. ▪ Certains indicateurs du niveau d'eau du réseau permanents seraient déplacés. ▪ Il faudrait davantage d'enregistreurs du niveau d'eau et un niveau de service accru. ▪ Les besoins de mise à jour des publications nautiques augmenteraient.

Opportunités
▪ Éventuelle diminution des coûts de déneigement (faibles économies). ▪ Diminution des coûts de chauffage.

Lacunes
▪ Il manque des prévisions régionales détaillées sur la vitesse et la direction du vent, les événements extrêmes (ampleur et fréquence) et les tempêtes. ▪ En général, il manque des prévisions sur les niveaux d'eau hors des Grands Lacs à proprement parler. De plus, il faut mettre à jour toutes les prévisions disponibles au moyen de scénarios et de modèles récents. ▪ Les éventuels changements du débit, de la circulation, ainsi que de la fréquence des ondes de tempête, des cyclones et des ouragans sont inconnus. ▪ Des renseignements sont nécessaires pour déterminer l'élévation adéquate des structures construites sur les rives (p. ex., quais) en fonction des changements potentiels des niveaux d'eau. ▪ Les effets des changements climatiques sur les infrastructures de certains lieux sont mal connus. ▪ Il n'existe pas d'évaluation des impacts pour tous les ports. Or, elles sont nécessaires pour la prise de décisions et la gestion des risques posés par les changements climatiques (p. ex., la conception du port dépendra probablement du lieu). ▪ Le lien entre le climat et l'impact des espèces aquatiques envahissantes sur les infrastructures n'est pas clairement établi. ▪ Il manque des données précises sur les processus côtiers et fluviaux et les modifications physiques du paysage.

Code pour sous-bassins

LW – Lac Winnipeg

RWB – Rivière Winnipeg et sous-bassin boréal

GL – Grands Lacs

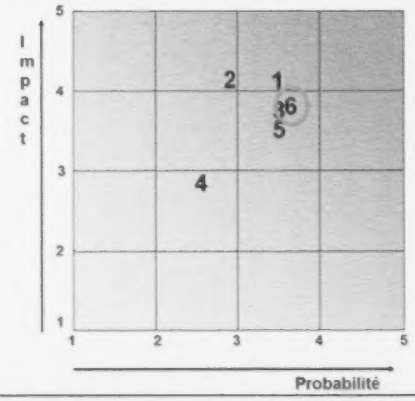
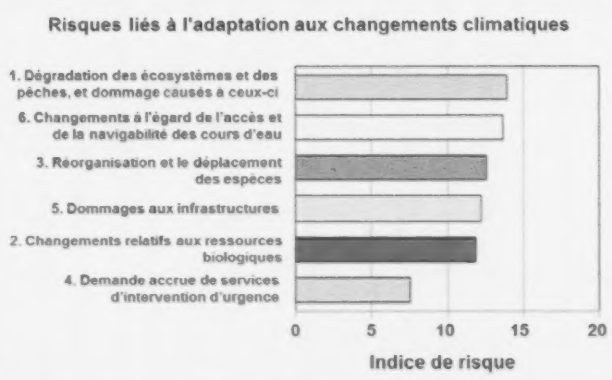
RS – Bassin de la rivière Saskatchewan

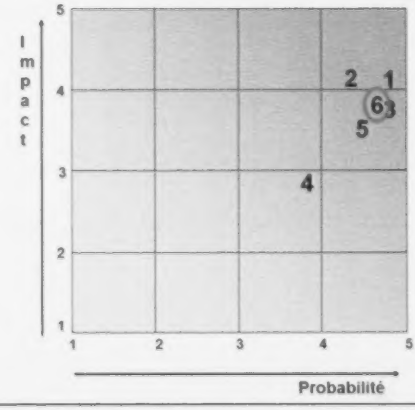
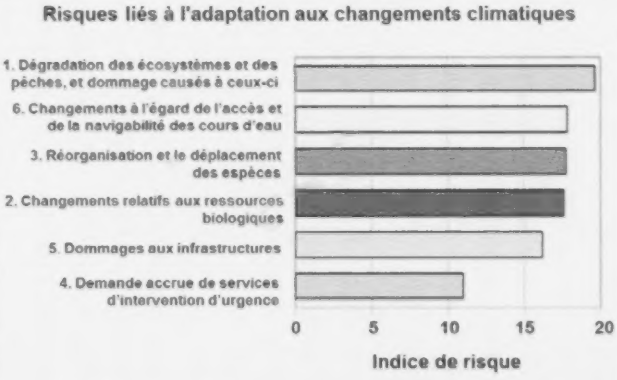
Annexe 7

Feuille de résumé des risques de changements à l'égard de l'accès et de la navigabilité des cours d'eau (risque 6) pour le grand bassin aquatique d'eau douce

Il faut noter que, dans le tableau, aucune correspondance directe n'est établie entre les facteurs de risque (partie gauche du tableau) et les conséquences (partie droite). Les lettres correspondent aux sous-bassins selon le code indiqué plus bas.

Grand bassin aquatique d'eau douce
Risque 6 : Changements à l'égard de l'accès et de la navigabilité des cours d'eau
Énoncé du risque : Les changements climatiques risquent d'avoir un impact sur la capacité du MPO à assurer un accès sécuritaire aux voies navigables.
Contexte : Ce risque fait allusion aux changements de certains facteurs comme la sédimentation, les niveaux d'eau, les mauvaises conditions météorologiques, l'énergie des vagues, les icebergs et la glace, qui peuvent entraver l'accès aux voies navigables.

Position sur la carte des points chauds – horizon de 10 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 10 ans**
	

Position sur la carte des points chauds – horizon de 50 ans	**Indice de risque (probabilité x impact) – horizon de 50 ans**
	

Principaux facteurs de risque	Conséquences possibles : Menaces
▪ La diminution de la couverture de glace augmente l'exposition des structures de navigation aux tempêtes et aux événements météorologiques extrêmes. (GL, RWB, LW) ▪ Les changements de la dynamique des glaces auront un impact sur la navigabilité. ▪ Les niveaux fluctuants du débit, la baisse des niveaux d'eau et les crues printanières affecteront la navigation et les structures connexes. (GL, RWB, LW) ▪ L'augmentation de la violence, de la fréquence et de la durée des tempêtes, de l'action des vagues et des crues accroît la dangerosité de la navigation. (GL, RWB, RS, LW) ▪ L'augmentation de la violence, de la fréquence et de la durée des tempêtes, de l'action des vagues et des crues causerait des modifications de l'érosion et de l'accrétion dans les voies navigables draguées, ce qui aurait des effets sur la profondeur minimale de navigation et les chenaux (particulièrement pour la navigation commerciale). ▪ La baisse des niveaux d'eau réduirait l'accès aux jetées, aux ports et aux rampes de mise à l'eau. (GL, RWB, RS, LW)	▪ Pertes de vie associées aux incidents. ▪ Dommages environnementaux découlant des incidents. ▪ Augmentation des besoins en relevés hydrographiques (à grande échelle et de vérification) et mise à jour des publications nautiques. ▪ Litiges contre le MPO à propos du relèvement hydrographique. ▪ Augmentation de l'entretien et de la surveillance des zones draguées. ▪ Augmentation des besoins en surveillance des obstacles, des niveaux d'eau dangereusement bas et des aides à la navigation endommagées. ▪ La baisse continue et à long terme des niveaux d'eau nécessiterait une redéfinition du niveau de référence des basses eaux (coût, travail, moindre sécurité en raison des confusions dans l'interprétation des cartes, indignation de la population et éventuelles pertes de revenu des marinas touchées).

Opportunités
▪ Augmentation du tourisme. ▪ Allongement de la saison de navigation et de transport de marchandises selon les niveaux d'eau. ▪ Éventuel raccourcissement de la saison de déglaçage sur les Grands lacs (économies). ▪ Possibilité d'un plus grand accès à des pêches en eau libre pour la pêche commerciale, autochtone et récréative.

Lacunes
▪ Il manque des prévisions régionales détaillées sur la vitesse et la direction du vent, les événements extrêmes (ampleur et fréquence) et les tempêtes. ▪ Les éventuels changements du débit, de la circulation, ainsi que de la fréquence des ondes de tempête, des cyclones et des ouragans sont inconnus. ▪ Il existe des prévisions sur la couverture de glace et le déglacement, mais elles ne renseignent pas nécessairement sur le mouvement des glaces et ses effets sur la navigation et le transport de marchandises. ▪ Les baisses de niveau d'eau varieront d'une région à l'autre et sont insuffisamment comprises. ▪ Le degré d'extension des zones géographiques des pêches récréative, autochtone et commerciale est inconnu et nécessiterait des modifications de la navigation ou de l'accessibilité. ▪ L'état des glaces est difficile à prévoir. ▪ Il n'existe pas d'évaluation des impacts pour tous les ports. Or, elles sont nécessaires pour la prise de décisions et la gestion des risques posés par les changements climatiques (p. ex., la conception du port dépendra probablement du lieu). ▪ Il manque des données précises sur les processus côtiers et fluviaux et les modifications physiques prévues.

Code pour sous-bassins

LW – Lac Winnipeg

RWB – Rivière Winnipeg et sous-bassin boréal

GL – Grands Lacs

RS – Bassin de la rivière Saskatchewan

Annexe 8

Définitions de l'impact et de la probabilité

Classement des impacts (Gestion intégrée du risque du MPO)

Impact	Définition de l'impact
Extrême	Événement majeur qui obligera le MPO à effectuer une réorientation à long terme et de grande envergure de ses activités, de ses objectifs ou de ses finances.
Très élevé	Événement critique qui, par une gestion efficace, peut être géré par le MPO.
Moyen	Événement important que le MPO peut gérer dans des circonstances normales
Faible	Événement dont le MPO peut absorber les conséquences, mais qui l'oblige à mettre en œuvre des mesures de gestion pour en atténuer les impacts.
Négligeable	Événement dont le MPO peut absorber les conséquences dans le cadre de ses activités normales.

Classement de la probabilité

Vote	Niveau de probabilité	Probabilité (%)
5	**Presque certain**	Plus de 80 %
4	**Probable**	61-80 %
3	**Modéré**	41-60 %
2	**Improbable**	20-40 %
1	**Rare**	Moins de 20 %

Le présent rapport est disponible auprès du :

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)
Région de la capitale nationale
Pêches et Océans Canada
200, rue Kent, Ottawa (Ontario) K1A 0E6
Téléphone : 613-990-0293

Courriel : csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-3769
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2013. Évaluation fondée sur les risques des impacts et des menaces que les changements climatiques présentent pour l'infrastructure et les systèmes biologiques qui relèvent du mandat de Pêches et Océans Canada – Grand bassin aquatique d'eau douce. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2013/011.

Also available in English:

DFO. 2013. Risk-based assessment of climate change impacts and risks on the biological systems and infrastructure within Fisheries and Oceans Canada's mandate – Freshwater Large Aquatic Basin. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2013/011.